

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікроелектроніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Борисов О.В.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) _____
(код і назва)

на тему: Мікроелектронна система діагностики чутливості нервових волокон людини.

Виконав студент IV курсу, групи ДП-51
(шифр групи)

_____ Котляревський Олексій Олегович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник доц. к.т.н. Лпина Б. І. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з нормоконтролю доц., к.т.н. Орлов А.Т. _____

Консультант з інформаційних питань ст. викл., к.т.н. Діденко Ю.В. _____

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 рік

Список скорочень

ЦНС – центральна нервова система.

ПНС – периферична нервова система.

МПС – максимальний потенціал дії.

ПД – потенціал дії.

КЕТП – кателектротонічний потенціал.

ЛВ – локальна відповідь.

ЕРС – електрорушійна сила.

ТБ – титанат барію.

ТС – титанат синцю.

ЦТС – цирконата-титанату свинцю.

КЕМЗ – коефіцієнти електромеханічного.

ЕНМГ – електронеуроміографія.

АНОТАЦІЯ

Робота зроблена у 61 сторінках, містить 4 розділи, 21 зображень, 4 таблиці, та 16 джерел у списку літератури.

Метою цієї дипломній роботи було зроблено розбір мікроелектронної системи для діагностики чутливості нервових волокон людини, та опис кожного з її елементів.

Також розглянуті різні варіанти для формування цієї системи, декілька видів віброелементів, велику увагу приділено п'єзоелементам та вібраційним системам на їх основі, зроблено деякі розрахунки характеристик віброелемента. Ще в цій роботі досліджена електронейроміографія, та зроблені висновки про доцільність її використання у нашій системі. Також проведено розгляд алгоритму дії нашої мікроелектронної системи.

ANNOTATION

The work is done in 61 pages, contains 4 sections, 21 images, 4 tables, and 16 sources in the list of literature.

The purpose of this thesis was to analyze the microelectronic system for diagnosing the sensitivity of human nerve fibers, and a description of each of its elements.

Also, I reviewed various options for the formation of this system, suggested several types of vibration elements, a great deal of attention is paid to piezoelements and vibration systems on their basis . Another in this work, electroneuromyography has been investigated, and conclusions have been made on the feasibility of its use in our system. We also reviewed the algorithm of our microelectronic system.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ | 5 |
| Розділ 1. Призначення вібротестера та принципу дії нервової системи | 6 |
| 1.1 Призначення вібротестера..... | 6 |
| 1.2 Вплив вібрації на організм людини | 7 |
| 1.3 Нервова система | 12 |
| 1.3.1 Структура периферичного нерва..... | 13 |
| 1.3.2 Параметри електричного імпульсу в нервовій тканині..... | 16 |
| 1.3.3 Типи та принципи проведення струму по нервовим волокнам..... | 18 |
| Розділ 2 Вібраційний елемент..... | 23 |
| 2.1 Основні відомості про характеристики вібраційного елемента..... | 23 |
| 2.2. Порівняння різних видів перетворювачів електричної енергії у механічну... | 24 |
| 2.3 П'єзоелектричний ефект..... | 28 |
| 2.4 П'єзоелектрики – монокристали та кераміка..... | 31 |
| 2.5.П'єзоелектричні перетворювачі(актуатори)..... | 36 |
| 2.5.Пакетна конструкція..... | 37 |
| 2.5.2 Біморфна конструкція | 40 |
| 2.6 Розрахунок деяких характеристик віброелемента..... | 42 |
| 2.7. Вибір п'єзоелектричного перетворювача | 44 |
| Розділ3.Реєстрація сигналу та генератор імпульсів для вібротестера..... | 46 |
| 3.1. Тактова кнопка..... | 46 |
| 3.1.1 Схема підключення кнопки..... | 46 |
| 3.1.2 Ефект брязкоту..... | 47 |
| 3.2. Міографія..... | 50 |
| 3.2.1. Електронейроміограф..... | 52 |
| 3.3.Висновки по реєстрації сигналу | 53 |
| 3.4 Генератор імпульсів для вібратора | 54 |
| 3.4.1 Вибір генератора та розгляд його складових | 54 |
| Розділ 4.Алгоритм роботи системи..... | 57 |
| Висновок..... | 60 |
| Список літератури..... | 61 |

Вступ

В даній роботі ми будемо розглядати мікроелектронну систему для діагностики чутливості нервових волокон, також така система відома під назвою «вібротестер». Вібротестер - це переносний прилад для вимірювання порога шкірної вібраційної чутливості, в тому числі його функціональних зрушень в зв'язку з фізичним або емоційним напруженням.

Сучасні умови виробництва характеризуються інтенсивним впровадженням механізованого інструменту, обладнання та транспорту. Це веде до постійного збільшення контингенту осіб, що контактують з вібрацією, яка в певних умовах може становити небезпеку для здоров'я працюючих, аж до розвитку професійного захворювання - вібраційної хвороби. Одним з ранніх симптомів вібраційної хвороби, поряд з ураженням інших систем, є порушення вібраційної чутливості різного ступеня. Тому, при проведенні попередніх і періодичних медичних оглядів осіб, що піддаються впливу виробничої вібрації, обов'язково проводиться дослідження вібраційної чутливості. Дослідження вібраційної чутливості входить в число методів, необхідних при вирішенні діагностичних питань (експертизі зв'язку захворювання з професією) і оцінці ступеня вираженості порушень в динаміці перебігу вібраційної хвороби.

Для кращого розуміння яким чином вібротестер досліджує нервову систему в наступних главах ми розглянемо деякі захворювання які здатен цей пристрій діагностувати та досліджувати . Також ми звернемо увагу на біофізичні основи роботи та структури нервової системи.

Розділ.1. Огляд наукових та технічних джерел інформації для визначення призначення вібротестера та принципу дії нервової системи.

1.1 Призначення вібротестера.

Дослідження вібраційної чутливості - найбільш прямий і характерний метод оцінки функції товстої мієлінованих нервових волокон. Вібротестер використовується для ранньої діагностики периферичної полінейропатії, в області гігієни праці професійних захворювань, та для діагностики вібраційної хвороби.

Отже, з основними напрямками примінення вібротестерів ми визначилися. Тепер для кращого розуміння того які пристрої можуть нам допомогти в ході діагностики цих захворювань ми опишемо їх.

Вібрація як виробнича шкідливість. Профілактика захворювань, що пов'язані з впливом вібрації

Виробнича вібрація — це чинник навколишнього середовища, що теж може негативно впливати на організм робітника. Вібрація — це механічні коливання пружних тіл з частотою більше 1 гц. Низькочастотні механічні коливання в межах від 3 до 12 гц сприймаються як поштовхи, від 16 до 8000 гц – як звук і вібрація.

Вібрація сприймається тілом робітника внаслідок безпосереднього контакту. Її поділяють на загальну і локальну. Загальна вібрація передається на тіло людини через опірні поверхні — сидіння, підлогу або робочий майданчик, а також при роботі на вантажних автомобілях, тракторах, комбайнах, бульдозерах і рейковому транспорті. Локальна

вібрація передається на руки робітника під час контакту з вібруючим інструментом або обладнанням.

Загальну вібрацію поділяють за джерелом виникнення на транспортну, транспортно-технологічну і технологічну.

За характером спектра вібрацію поділяють на вузькосмугову і широкосмугову.

Вібрація характеризується частотою, вираженою в герцах. За одиницю частоти беруть 1 коливання за 1 с - герц. Вібрація буває низько частотною - з переважанням максимальних рівнів в октавних смугах 8 і 16 Гц, середньо частотною - 31,5 і 63 Гц і високочастотною - 125, 250, 500 і 1000 Гц (для локальних вібрацій). Для вібрацій робочих місць - відповідно 1 і 4; 8 і 16; 31,5 і 63 Гц. Вібрація характеризується також і амплітудою, яка вимірюється в метрах. Амплітудою називається максимальне відхилення тіла від положення стійкої рівноваги. Вібрація характеризується також швидкістю (м/с) і пришвидшенням (м/с^2). Інтенсивність вібрації вимірюється у децибелах (дБ).

1.2 Вплив вібрації на організм людини

Тривала дія вібрації в комплексі з іншими виробничими чинниками може призвести до виникнення вібраційної хвороби.

Розрізняють форми вібраційної хвороби, спричинені локальною і загальною вібрацією, причому більше поширена вібраційна хвороба, зумовлена дією локальної вібрації.

Вібраційна хвороба - професійне захворювання, яке відрізняється поліморфно клінічної симптоматики і особливістю перебігу. Тривалому впливу вібрації можуть піддаватися працюють з ручним механізованим інструментом ударного або обертового дії. До них відносяться обрубники

чавунного лиття, рубники металу, клепальники, формувальники, бурильники, кам'яні різчики, шліфувальники, полірувальники, наждачники, ,слюсарі-збирачі. Хвороба зустрічається у вальників і лісників при роботі з моторними і електричними пилами, у рихтувальників, які працюють на верстатах динамічного наклепу, у фармовщиків-бетонників при віброущільненням бетону (1-6). По своїй фізичній природі вібрація являє собою механічне коливальний рух, що повторюється через певні періоди. Основними параметрами, що характеризують вібрацію, є частота коливань і віброшвидкість. Частота коливань вимірюється в герцах (Гц), віброшвидкість - в метрах в секунду (м / с).

Вібрація з частотою 8-16 Гц відноситься до низькочастотної, 31,5-63 Гц - до середньо частотної, від 125 до 1000 Гц - до високочастотної. Найбільша небезпека розвитку вібраційної хвороби при вібрації з частотою 16-200 Гц.

Патогенез. В основі розвитку патології лежать складні механізми нейрогуморальних і нервово-рефлекторних розладів. Доведено, що вібрація надає загально біологічну дію на будь-які клітини, тканини і органи. Будучи сильним подразником, вона сприймається, мабуть, особливими нервовими закінченнями-рецепторами вібраційної чутливості. Вібрація, викликаючи різного ступеня вираженості біологічні ефекти в стані рецепторних апаратів майже всіх тканин, а також периферичних нервів, може розглядатися як специфічний подразник вібраційного аналізатора. Паралельно з прогресуючим зниженням вібраційного сприйняття при вібраційної хвороби порушується больова, тактильна і температурна чутливість. Класифікація вібраційної хвороби від впливу локальної вібрації

Початкові прояви (1 ступінь):

1. Периферичний агніодистонічний синдром верхніх кінцівок, в т. Ч. З рідкісними ангіоспазму пальців.

2. Синдром сенсорної (вегетативно-сенсорної) полінейропатії верхніх кінцівок.

Помірно виражені прояви (2 ступінь):

1. Периферичний агніодистонічний синдром верхніх кінцівок з частковими ангіоспазмом пальців.
2. Синдром вегетативно-сенсорної полінейропатії верхніх кінцівок:
 - а) з частими ангіоспазму пальців;
 - б) зі стійкими вегетативно-трофічними порушеннями на кистях;
 - в) з дистрофічними порушеннями опорно-рухового апарату рук і плечового пояса (міопатоз, міофібрози, периартроз, артрози);
 - г) з шийно-плечовий плексопатії;
 - д) з церебральним агніодистонічних синдромом.

Поліневропатія - це дифузні розлади периферичних нервів, які не обмежуються ураженням одного нерва або однієї кінцівки а, як правило, є відносно симетричними по обидва боки. Для виявлення уражених нервів, розподілу і тяжкості ураження необхідні нейрофізіологічні дослідження, які також можуть вказати на причину захворювання. Лікування спрямоване на ослаблення або усунення причини нейропатії.

Деякі полінейропатії (наприклад, при інтоксикації свинцем, укуси кліща, порфірії або синдромі Гієна - Барре) вражають переважно рухові волокна; інші (наприклад, при гангліоніті спинного корінця, зустрічається при злоякісних пухлинах; при лепрі, СНІД, цукровому діабеті або хронічної інтоксикації перидоксином) - чутливі. При ряді захворювань (наприклад, при синдромі Гієна - Барре, хвороби Лайма, цукровому діабеті, дифтерії) можуть залучатися і черепні нерви. Деякі ліки і токсини можуть вражати чутливі і / або рухові волокна (Токсичні причини полінейропатії).

Симптоми можуть з'являтися раптово або розвиватися протягом деякого часу і ставати хронічними, що залежить від причини захворювання. Оскільки патофізіологія і симптоми захворювання тісно пов'язані, то полінейропатії зазвичай класифікують по субстрату поразки: демієлінізуючі

(ураження мієліну), судинні (ураження *vasa nervorum*) і аксональні (ураження аксонів). Вони можуть бути придбаними або спадковими (Спадкові нейропатії).

Демієлінізуючі полінейропатії частіше розвиваються в результаті параінфекційна імунної відповіді, який запускають інкапсульовані бактерії (наприклад, *Campylobacter* spp.), Віруси (наприклад, ентеровіруси або вірус грипу, ВІЛ) або вакцинація (наприклад, проти грипу). Передбачається, що антигени цих збудників вступають в перехресні реакції з антигенами периферичної нервової системи, викликаючи імунну відповідь (клітинний і / або гуморальний), в тій чи іншій мірі руйнує мієлін. У гострих випадках (наприклад, при синдромі Гієна-Барре- Синдром Гієна-Барре (СГБ)) може розвинути швидко прогресуюча слабкість і дихальна недостатність. При хронічній запальній полінейропатії (ХВДП) симптоми можуть рецидивувати або прогресувати протягом декількох років і місяців.

Поразка мієліну призводить до порушення функції товстих чутливих волокон (парестезії), ступінь м'язової слабкості випереджає вираженість атрофії, рефлексии сильно знижуються. Можуть бути залучені мускулатура торса і черепно-мозкові нерви. При демієлінізації нерви уражаються по всій довжині, що проявляється симптоматикою в проксимальних і дистальних відділах кінцівок. Можлива асиметричність поразок, а верхні частини тіла можуть залучатися раніше, ніж дистальні відділи кінцівок. М'язова маса і тонус м'язів зазвичай збережені.

Аксонопатії зазвичай бувають дистальними, вони можуть бути як симетричними, так і асиметричними.

Симетричні аксонопатії найчастіше розвиваються в результаті токсично-метаболічних порушень. Найбільш часті причини включають в себе:

- Цукровий діабет 2-го типу

- Хронічну ниркову недостатність
- Побічні ефекти хіміотерапевтичних препаратів (наприклад, алкалоїди барвінку)

Аксонопатія може бути результатом недостатності харчування (найчастіше тіаміну або вітаміну B6, B12 або E) або при надмірному прийомі з їжею вітаміну B6, або при зловживанні алкоголем. Менш поширені метаболічні причини: гіпотиреоз, порфірія, саркоїдоз і амілоїдоз. Інші причини включають в себе деякі інфекції (наприклад, хвороба Лайма), прийом лікарських препаратів (оксид азоту) і вплив ряду хімічних речовин (наприклад, ейджент оранж, n-гексан) і важких металів (наприклад, свинець, миш'як, ртуть). При паранеопластичному синдромі, пов'язаному з дрібноклітинний рак легені, загибель гангліїв дорсальних корінців і їх чутливих аксонів призводить до підгострій сенсорної нейропатії.

Первинна аксональна дисфункція може починатися з симптомів ураження товстих і / або тонких волокон. Зазвичай нейропатія має дистальне симетричне розподіл за типом «рукавичок» і «шкарпеток»; вона в рівній мірі вражає спочатку нижні кінцівки, потім верхні і симетрично поширюється на проксимальні відділи.

Діагностика полінейропатії. Отже буде затруднена, оскільки симптоми захворювання відповідають безлічі різноманітних хвороб. Поставити діагноз тільки на підставі скарг пацієнта неможливо: для цього потрібно пройти цілий ряд інструментальних та лабораторних досліджень. Постановка діагнозу починається з консультації у невролога: лікар огляне уражені кінцівки і перевірить рефлекси. При підозрі на полінейропатію необхідно зробити загальний аналіз крові, пройти електронейроміографія - дослідження, яке показує, як сигнал проходить по нервах, іноді потрібно біопсія нерва. Можливо, виникне необхідність у консультації у ендокринолога.

Дослідження вібраційної чутливості дозволяє оцінити стан товстих сенсорних волокон типу Аβ. Вібраційну чутливість класично досліджують за допомогою не градуйованого або градуювання камертона. Поріг вібраційної чутливості підвищується з віком тому показники повинні бати співвіднесені з нормальними показниками для віку пацієнта. Більш точна оцінка вібраційної чутливості проводиться за допомогою градуювання камертона з частотою коливань 128 Гц.

1.3 Нервова система

В цій главі ми розглянемо нервову систему в цілому, а також нервові волокна, їх типи та механізм проведення потенціалу по нервовим волокнам. Ця глава потрібна нам для кращого розуміння фундаментальних основ на яких ґрунтується принцип дії нашого вібротестера, вчасності для біофізичних процесів при міографії. Також важливим є розуміння походження та поширення сигналу який утворюється при впливі вібрації на шкіру людини.

Нервова система - це головна фізіологічна система в організмі людини, яка з'єднує величезна кількість органів, тканин і клітин в єдину робочу цілісну систему, а також корелює основні функції тіла і його поведінку. Вона складається з центральної нервової системи (ЦНС), яка включає в себе головний і спинний мозок, і периферичної нервової системи (ПНС), що включає в себе черепно-мозкові, спинномозкові і деякі інші типи нервів. Саме завдяки діяльності цієї цілісної системи людина має зв'язком з навколишнім його природою, має можливість оцінити по достоїнству, відкрити для себе її секрети, і, звичайно ж, змінювати природу в потрібному йому напрямку.

ЦНС у міру свого розвитку обзаводиться головною функцією, без якої людина не змогла б існувати - здатність контролювати психічну діяльність. За допомогою цієї функції ЦНС дає людині почуття відчуття і сприйняття, а

також здатність мислити. Без цієї функції, виконуваної ЦНС, людський мозок не зміг би функціонувати належним чином, а цей орган безпосередньо впливає на можливість життя в суспільстві, комунікації, знайомстві з природними явищами і розуміння, як всім цим керувати. ЦНС має зв'язок з органами і тканинами за допомогою ПНС, що включає в себе такі нерви, як: черепно-мозкові, спинномозкові, міжхребцеві, а також один з головних відділів, що відповідає за вегетативну нервову систему - нервові вузли, з відповідними до них (прегангліонарними) і відходять від них (постгангліонарними) нервовими волокнами. До основних рис нервових клітин в тканинах включають в себе сприйняття дії подразника, перехід в збуджений стан і поширення потенціалу дії. У ЦНС відбувається регуляція роботи тканин і органів, а також їх зв'язок із зовнішнім світом. Основними складовими нервової тканини є нейрони і нейроглії. Нейроглії, на відміну від нейронів, виконують далеко не найважливішу роль, але при цьому забезпечують організм опорної, секреторної і захисної функцією. ПНС не сильно відрізняється від ЦНС за складністю і організованості своєї будови. Внаслідок пошкодження будь-якого з безлічі складових частин ПНС можуть почати зароджуватися багато хвороб - від радикуліту до важких вертеброгенних уражень. Частина з них може з'явитися протягом життя, але також причина може ховатися в генетичні фактори.

1.3.1 Структура периферичного нерва

Нервові волокна, з яких складається периферичний нерв, часто мають ізоляційний шар мієліну, оточений сполучною тканиною.

Пучки периферичних нервів формуються з їх волокон, які бувають чутливі і рухові. Велика частина закінчення такого нерва складається з трьох оболонок сполучної тканини, які захищають тендітні нервові волокна від пошкоджень. Кожен шар має свою задачу: ендоневрій оточує найменшу одиницю периферичного нерва, аксон; перінервій зосереджений навколо

групи захищених нервових волокон, які називаються пучками; епіневрій оточує нервові судини.

Більшість периферичних нервів мають чутливу і рухову функцію, тобто несуть інформацію в ЦНС і з неї, відповідно, завдяки цьому їх називають "змішані нерви". Нерви виключно з однією функцією зустрічаються в тілі дуже рідко. Сигнал, що посиляється по волокну нерва до нервово-м'язового з'єднання, передається волокну м'язи хімічними речовинами (нейротрансмітерами), які виділяються закінченнями рухового нерва, і м'яз у відповідь скорочується.

Мембранний потенціал дії: фази, іонні механізми

Потенціал дії - це стрибкоподібне зміна постійного мембранного потенціалу з негативною поляризації на позитивну і назад.

При дії порогового або надпорогового подразника змінюється проникність клітинної мембрани для іонів в різного ступеня. Для іонів Na вона підвищується в 400-500 разів, і градієнт наростає швидко, для іонів K - в 10-15 разів, і градієнт розвивається повільно. В результаті рух іонів Na відбувається всередину клітини, іони K рухаються з клітки, що приводить до перезарядження клітинної мембрани. Зовнішня поверхня мембрани несе негативний заряд, внутрішня - позитивний.

Порушення нервової клітини під дією хімічного сигналу (рідше електричного імпульсу) призводить до виникнення потенціалу дії. Це означає, що потенціал спокою -60 мВ стрибком змінюється на +30 мВ і через 1 мс приймає початкове значення. Процес починається з відкривання Na⁺-каналу (1). Іони Na⁺ спрямовуються в клітину (по градієнту концентрації), що викликає локальне звернення знака мембранного потенціалу (2). При цьому Na⁺-канали негайно закриваються, т. Е. Потік іонів Na⁺ в клітину триває дуже короткий час (3). У зв'язку зі зміною мембранного потенціалу відкриваються (на кілька мс) потенціал-керовані K⁺-канали (2) і іони K⁺

спрямовуються в зворотному напрямку, з клітки. В результаті мембранний потенціал приймає первісне значення (3), і навіть перевищує на короткий час потенціал спокою (4). Після етогонервова клітина знову стає збудливою.

За один імпульс через мембрану проходить невелика частина іонів Na^+ і K^+ , і концентраційні градієнти обох іонів зберігаються (в клітці вище рівень K^+ , а поза кліткою вище рівень Na^+). Тому в міру отримання клітинно-йнових імпульсів процес локального звернення знака мембранного потенціалу може повторюватися багато разів. Поширення потенціалу дії по поверхні нервової клітини засноване на тому, що локальне звернення мембранного потенціалу стимулює відкривання сусідніх потенціал-керованих іонних каналів, в результаті чого збудження поширюється у вигляді деполяризаційного хвилі на всю клітину.

Висхідна гілка графіка:

- потенціал спокою - вихідне звичайне поляризоване електронний торгівельний стан мембрани (-70 мВ);

- наростаючий локальний потенціал - пропорційна подразника деполяризація;

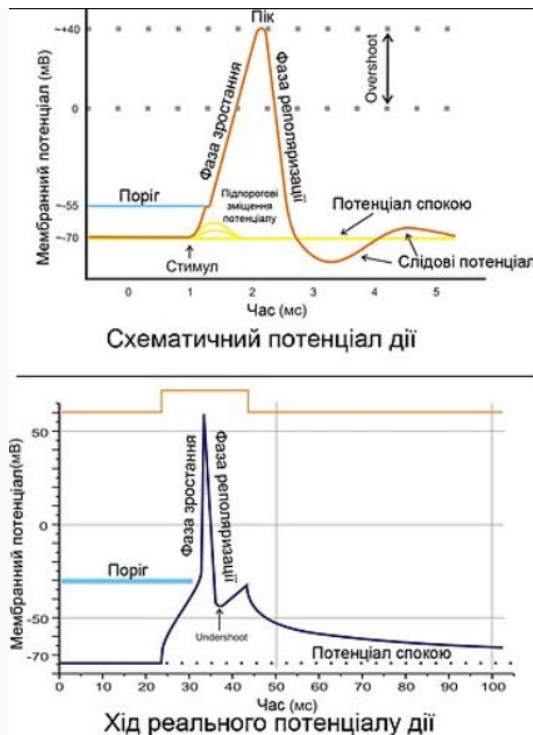
- критичний рівень деполяризації (-50 мВ) - різке прискорення деполяризації (за рахунок саморозкриття натрієвих каналів), з цієї точки починається спайк - високоамплітудними частина потенціалу дії;

- самопосилюється круто наростаюча деполяризація;

- перехід нульової позначки (0 мВ) - зміна полярності мембрани;

- «Овершут» - позитивна поляризація (інверсія, або реверсія, заряду мембрани);

- пік (+30 мВ) - вершина процесу зміни полярності мембрани, вершина потенціалу дії.



Мал.1.1 Графік потенціалу дії нервової тканини.

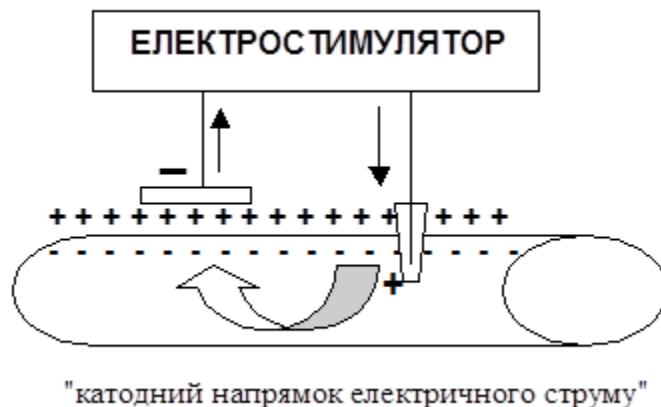
Низхідна гілка графіка:

- реполяризация - відновлення колишньої електронегативності мембрани;
- перехід нульової позначки (0 мВ) - зворотна зміна полярності мембрани на колишню, негативну;
- перехід критичного рівня деполяризації (-50 мВ) - припинення фази відносної рефрактерності (невозбудимості) і повернення збудливості;
- слідові процеси (слідові деполяризация або слідові гіперполяризації);
- відновлення потенціалу спокою - норма (-70 мВ).

1.3.2 Параметри електричного імпульсу струму в нервовій тканині

На поверхні мембрани повинен розташовуватись катод (-), а в клітині - анод (+) - це "катодний напрямок електричного струму", бо тільки

при зменшенні МПС відчиняються потенціало залежні активаційні ворота (m) натрієвих каналів:



Мал. 1.2 Приклад дії подразнення на нервову тканину

Δ Величина електричного струму, що діє на мембрану, повинна бути не менше порогової величини (ΔE), бо тільки в такому випадку відчиняються потенціало-залежні активаційні ворота (m) всіх натрієвих каналів, які має мембрана, та виникає ПД.

- При дії на нервово волокно допорогового електричного струму ПД не виникає, а виникають місцеві потенціали:

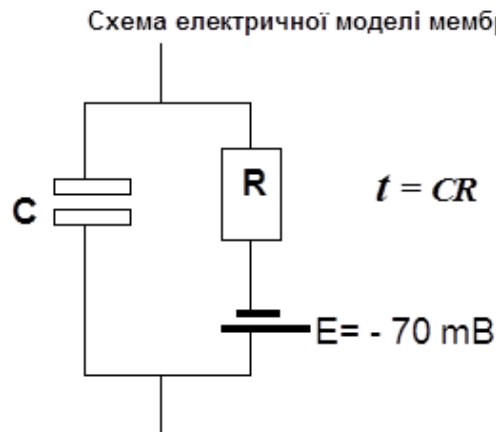
- Кателектротонічний потенціал (КЕТП) виникає завдяки пасивній дії електричного струму катодного напрямку на мембрану нервового волокна.

- Локальна відповідь (ЛВ) - обумовлена входом іонів натрію через деякі натрієві канали при їх активації, але більшість потенціало-залежних воріт натрієвих каналів зачинено при допороговій величині електричного струму.

- Місцеві потенціали не поширюються на значну відстань.

- Вони підпорядковані "закону силових відносин": чим більше сила допорогового електричного струму, тим більше величина місцевого потенціалу.

Тривалість імпульсу електричного струму повинна бути не менше порогової величини (ΔE), що пов'язано з характеристикою мембрани - електрична модель мембрани має ємкісний (C) та омичний (R) опір, а час дії електричного струму на цю систему повинен бути не менше постійного часу мембрани (t):



Мал.1.3 Електрична модель мембрани

1.3.3 Типи та принципи проведення струму по нервовим волокнам

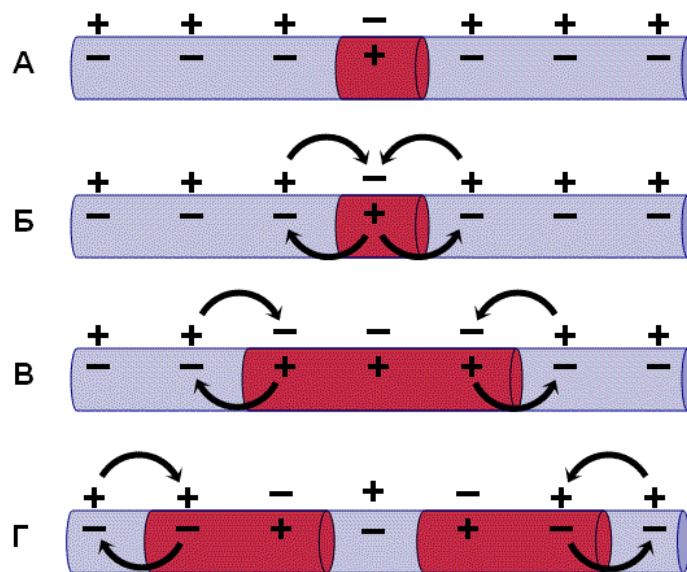
У безмієлінових волокнах нервовий імпульс поширюється хвилеподібно, послідовно збуджуються невеликі ділянки розміром в кілька мікрометрів. Порушення поширюється набагато повільніше, ніж по мієлінових волокнах.

У стані спокою вся внутрішня поверхня мембрани нервового волокна несе негативний заряд, а зовнішня сторона мембрани - позитивний. Електричний струм між внутрішньою і зовнішньою стороною мембрани не протікає, так як ліпідна мембрана має високий електричний опір.

Під час розвитку потенціалу дії в збудженому ділянці мембрани відбувається реверсія заряду (мал. 1.4, А). На кордоні порушеної і

збудженому ділянці починає протікати електричний струм (мал. 1.4, Б). Електричний струм дратує найближчого відділку мембрани і призводить його в стан збудження (мал. 1.4, В), в той час як раніше порушені ділянки повертаються в стан спокою (мал. 1.4, Г). Таким чином, хвиля збудження охоплює все нові ділянки мембрани нервового волокна.

При дії подразника порогової сили на мембрану безмієлінових волокна змінюється її проникність для іонів Na^+ , які потужним потоком спрямовуються всередину волокна. У цьому місці змінюється заряд мембрани (внутрішня стає зарядженою позитивно, а зовнішня негативно). Це веде до виникнення кругових струмів (заряджених частинок) від «+» до «-» протягом усього волокна.



Мал. 1.4 Схема поширення потенціалу немієлінізованими волокнами

Особливості поширення збудження по безмієліновим волокнам:

1. Порушення поширюється безперервно і все волокно відразу охоплюється збудженням.
2. Порушення поширюється з невеликою швидкістю.

3. Порушення поширюється з декриментом (зменшення сили струму до кінця нервового волокна).

За безмієліновим волокнах збудження проводиться до внутрішніх органів від нервових центрів.

Наявність у мієлінових волокон оболонки, яка має високим електричним опором, а також ділянок волокна, позбавлених оболонки - перехоплень Ранв'є створюють умови для якісно нового типу проведення збудження по мієлінових нервових волокнах.

У мієлінізованним волокні струми проводяться тільки в зонах, не покритих мієліну (перехоплення Ранв'є). У цих ділянках генерується черговий ПД. Перехоплення довжиною 1 мкм розташовані через 1000 - 2000 мкм, характеризуються високою щільністю іонних каналів, високу електропровідність і низьким опором.

При дії подразника порогової сили на мембрану мієлінового волокна в області перехоплення Ранв'є змінюється проникність для іонів Na^+ , які потужним потоком спрямовуються всередину волокна. У цьому місці змінюється заряд мембрани, що веде до виникнення кругових струмів. Цей струм йде через міжканинну рідину до сусіднього перехоплення, де відбувається зміна заряду. Таким чином, порушення перестрибує з однієї ділянки на іншу. Зворотний рух збудження неможливо так як ділянка, через який воно пройшло, знаходиться в фазі абсолютної рефрактерності.

Особливості поширення збудження по мієлінових волокнах:

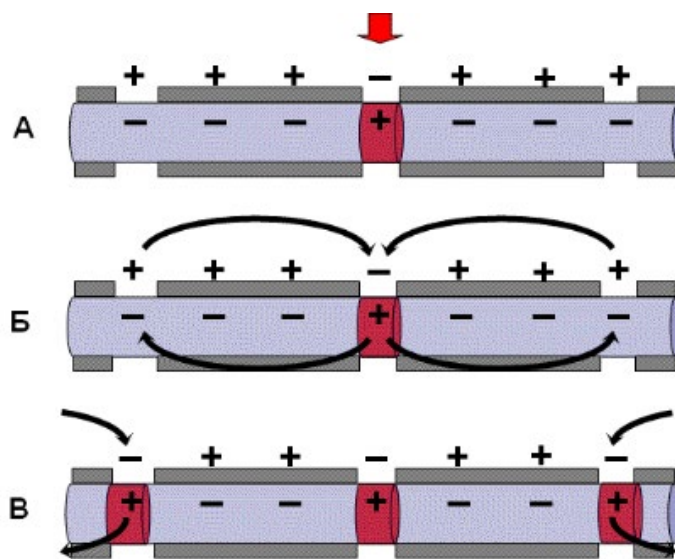
1. Поширення ПД в мієлінізованих нервових волокнах здійснюється сальтаторно - стрибкоподібно від перехоплення до перехоплення, тобто збудження (ПД) як би «перестрибує» через ділянки нервового волокна, покриті мієліну, від одного перехоплення до іншого і все волокно відразу не охоплюється збудженням.

2. Порушення поширюється з великою швидкістю.

3. Порушення поширюється без декрімента.

За мієлінових волоконх збудження поширюється від аналізаторів до ЦНС, до скелетних м'язів, тобто там, де потрібна висока швидкість реакції у відповідь.

У мієлінізованих нервовому волокні ділянки мембрани, покриті мієліновою оболонкою, яка є незбуджуваною; збудження може виникати тільки в ділянках мембрани, розташованих в області перехоплень Ранве.



Мал. 1.4 Схема поширення потенціалу мієлінізованим волокнам.

При розвитку ПД в одному з перехоплень Ранв'є відбувається реверсія заряду мембрани (мал. 1.4, А). Між електронегативними і електропозитивні ділянками мембрани виникає електричний струм, який дратує сусідні ділянки мембрани (мал. 1.4, Б). Однак в стан збудження може перейти тільки ділянку мембрани в області наступного перехоплення Ранв'є (мал. 1.4, В). Таким чином, порушення поширюється по мембрані стрибкоподібно (сальтаторно) від одного перехоплення Ранв'є до іншого.

Нервові волокна по їх діаметру і швидкості проведення збудження прийнято поділяти на три типи: А, В, С. Волокна типу А в свою чергу

діляться на підтипи: А- α , А- β , А- γ , А- δ . Таблиця з видами волокон представлена в (Додаток 1).

Волокна типу А покриті мієліновою оболонкою. Найбільш товсті серед них (А- α) мають діаметр 12-22 мкм і мають найбільшу швидкість проведення збудження - 70-120 м / с. За цим волокнах збудження проводиться від моторних нервових центрів спинного мозку до скелетних м'язів і від рецепторів м'язів до відповідних нервових центрів. Інші волокна типу А мають менший діаметр і меншу швидкість проведення збудження (від 5 до 70 м / с). Вони відносяться переважно до чутливих волокон, які проводять збудження від різних рецепторів (тактильних, температурних та ін.) В ЦНС.

До волокнам типу В відносяться мієлінові прегангліонарних волокна вегетативної нервової системи. Їх діаметр становить 1-3,5 мкм, а швидкість проведення збудження - 3-18 м / с.

До волокнам типу С відносяться тонкі (діаметр 0,5-2 мкм) безмієлінові нервові волокна. Швидкість проведення збудження по ним складає 0,5-3,0 м / с. Волокна цього типу входять до складу постгангліонарних волокон вегетативної нервової системи. Ці волокна також проводять збудження від терморецепторів і больових рецепторів.

Висновок до розділу

В цьому розділі я розібрався з призначенням вібротестера, та добре ознайомився в яких випадках він застосовується. Також було досліджено нервову систему людини, для кращого розуміння того як вібрації впливають на організм людини, та яким нервові імпульси проходять по організму людини.

2. Вібраційний елемент

2.1 Основні відомості про характеристики вібраційного елемента

Прилади для визначення вібраційної чутливості призначені для вимірювання чутливості до вібрації шкіри різних ділянок тіла людини. Принцип дії цих приладів полягає в порушенні механічних коливань будь-якого ділянки тіла, досліджуваного за допомогою вібратора, і вимірі (відліку) порогового рівня вібрації при мовному відповіді пацієнта.

Прилад для визначення вібраційної чутливості складається з вібратора, генератора електричних сигналів і вимірювального, або лічильного пристрою.

В якості вібратора, що дозволяє перетворити електричні коливання в механічні, використовують п'єзоелектричні, магнітострикційні і електродинамічні перетворювачі. Генератори електричних сигналів працюють на фіксованих частотах переважно наступного ряду: 16; 32; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц. Вимірювальне, або відліковий, пристрій градується в певних одиницях. Перші пристрої градуйованим за величиною електричної напруги, що подається з генератора на вібратор; пізніше вимірювалася величина віброзміщення штока вібратора. У сучасних приладах роблять відлік віброшвидкості штока вібратора в сантиметрах в 1 сек. або в децибелах щодо фізіол, нульового рівня, що є середньостатистичним значенням для молодих практично здорових осіб. Останній тип відліку найбільш зручний. Величина фізіол, нульового рівня на кожній з робочих частот задається в децибелах щодо $5 \cdot 10^{-8}$ м / сек.

Далі розглянемо деякі типи перетворювачів напруги у коливання, їх принцип дії та недоліки кожного з перетворювачів.

2.2 Порівняння різних видів перетворювачів електричної енергії у механічну

Недоліки п'єзоелектричних перетворювачів. Робочою областю частот є область, у якій чутливість залишається постійною. Зверху ця область обмежена резонансом п'єзоелемента. Знизу вона визначається постійної часу τ . Для поліпшення частотних властивостей в області нижніх частот потрібно збільшувати $\tau = R(C + C_1)$. Для посилення вихідної напруги п'єзоелектричного перетворювача застосовують підсилювачі з максимально можливим вхідним опором (не менш 10^{11} Ом). Подальше збільшення постійної часу може відбуватися при збільшенні C_1 ; для цього вхід підсилювача шунтується додатковим конденсатором. Однак введення цього конденсатора зменшує чутливість при великих частотах $S(\infty)$ і вимагає збільшення коефіцієнта підсилення підсилювача. У схемі, розглянутій вище, постійна часу $\tau = R(C + C_1)$ звичайно не перевищує 1 с. Використання операційних підсилювачів зі зворотними зв'язками дозволяє створювати прилади, у яких постійна часу досягає значень 10-100 с.

Верхня частота робочого діапазону визначається збільшенням чутливості внаслідок механічного резонансу. Вона досить висока. Є перетворювачі з верхньою частотою робочого діапазону 80 кГц.

У вимірювальному ланцюзі зовнішніми електромагнітними полями може наводитися паразитна ЕРС. Ця змінна ЕРС створює погрішність. Для захисту від полів вимірювальний ланцюг екранується й датчик з'єднується із вторинним перетворювачем за допомогою екранованого кабелю. Однак нестабільність параметрів кабелю, наприклад зміна його ємності, обумовлена вигином, викликає зміну чутливості відповідно до формули і вносить погрішність.

При вигинах кабелю він може розшаровуватися. На розшарованих поверхнях внаслідок тертя утворюються електричні заряди. Переміщення заряджених поверхонь під дією вібрації кабелю приводить до появи деякої змінної ЕРС. Погрішність, обумовлена вібрацією кабелю, може бути значно зменшена застосуванням спеціальних антивібраційних кабелів.

Зміна температури п'єзоелемента викликає також зміну його п'єзоелектричного модуля й чутливості. Найбільш стабільним п'єзоелектричним матеріалом є кварц.

Погрішність перетворювача може бути викликана також недосконалістю п'єзоелектричних матеріалів: гістерезисом характеристики і її нелінійністю.

Якщо в перетворювачі діють сили, перпендикулярні осі чутливості п'єзоелемента, то можлива погрішність, яка обумовлена поперечним п'єзоефектом.

Недоліки ємнісних перетворювачів. Ємнісні перетворювачі мають ряд специфічних достоїнств і недоліків, що визначають область їх застосування. Конструкція ємнісного датчика проста, він має малу масу й розміри. Його рухомі електроди можуть бути досить жорсткими, з високою власною частотою, що дає можливість вимірювати швидкозмінні величини. Ємнісні перетворювачі можна виконувати із заданою (лінійною або нелінійною) функцією перетворення. Для одержання необхідної функції перетворення часто досить змінити форму електродів. Відмінною рисою є мала сила притягання електродів.

Основним недоліком ємнісних перетворювачів є мала їхня ємність і високий опір. Для зменшення останнього перетворювачі живляться напругою високої частоти. Однак це обумовлює інший недолік - складність вторинних

перетворювачів. Недоліком є й те, що результат вимірювання залежить від зміни параметрів кабелю.

Ємнісні перетворювачі широко застосовуються в науково-дослідній роботі, де є висококваліфікований персонал для розробки, експлуатації й ремонту датчиків і вторинних приладів. В умовах наукового експерименту неопіненною

Погрішність індуктивних перетворювачів.

Температурна погрішність індуктивних перетворювачів в основному обумовлена зміною активної складової їхнього опору. Крім того, при зміні температури змінюється магнітна проникність сталі, що приводить до деякої додаткової зміни адитивної і мультиплікативної погрішностей.

При зміні напруги живлення міняється магнітна проникність магнітопроводу перетворювача, а отже, його опір й чутливість. Змінюється також чутливість мостового вимірювального ланцюга. Зміна опору приводить до адитивної погрішності й компенсується мостовим ланцюгом. Зміна чутливості створює мультиплікативну погрішність. Для її зменшення або стабілізують напругу джерела живлення мосту, або застосовують компенсаційні схеми виміру..

Інша причина погрішності мосту полягає в тім, що в живлячій напрузі крім напруги з основною частотою є складові із кратними частотами й із частотою промислової мережі. Реальний міст змінного струму, що живиться такою напругою повністю збалансувати неможливо.

Висновок

Отже , ми розглянули 3 види перетворювачів, п'єзоелектричний, ємнісний та індуктивний. У всіх цих видів перетворювачів є свої недоліки та переваги. Але серед представлених видів перетворювачів більш за все нам

підходить п'єзоелектричний, через те, що недоліки які має цей перетворювач для нас неважливі в данній роботі. Також вони легкі у використанні, конструюванні та виробництві, через що їх ціна значно нижче ніж на аналогічні моделі інших перетворювачів.

Ємнісний та індуктивний перетворювачі ж мають такі недоліки які значно ускладнюють роботу з ними. У ємнісного це - складність вторинних перетворювачів та те що результат вимірювання залежить від зміни параметрів кабелю. Отже цей перетворювач гарно використовував коли у вас є висококваліфікований персонал, а в нашому випадку ним мають користуватися медичні працівники, які не мають достатньо навиків для використання таких приладів.

Індуктивний перетворювач також є достатньо складним у порівнянні з п'єзоелектричним, точність цього перетворювача сильно залежить від зміни частоти живлення, що ми будемо часто робити при дослідженні віброчутливості. Також у виробництві індуктивні перетворювачі значно складніші та дорожчі за п'єзоелектричні.

Основні переваги п'єзоелектричних перетворювачів:

1. Висока надійність - виходить на рівень електронних схем основними причинами відмов є електропробій і розрив з'єднувального шва у біморфних елементів, який відбувається в наслідок згинальних коливань.

2. Малі масогабаритні показники - визначаються розмірами п'єзоелементів

3. Висока радіаційна стійкість - ПД можуть зберігати працездатність при впливі всіх відомих видів радіоактивного випромінювання.

4. Стійкість до дії різних агресивних середовищ - з відомих нині хімічних сполук тільки плавикова кислота здатна надати руйнівну дію на п'єзокераміка.

5. Висока термостійкість - елементи, виготовлені з деяких марок п'єзокераміки ЦТС, ПКР не втрачають своїх властивостей при температурах до 300-400 ° С.

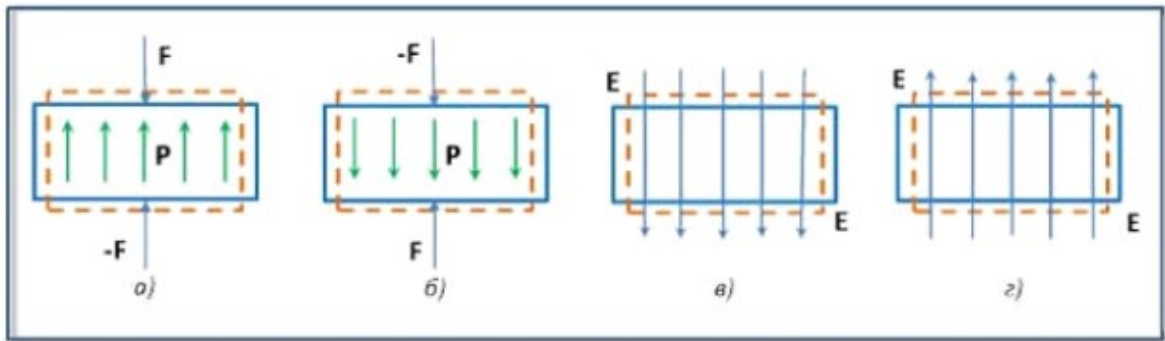
6. Можливість використання ПД безпосередньо без додаткових кінематичних зв'язків з об'єктом вимірювання.

7. Діелектрична природа п'єзoeлемента - функціонування за рахунок дії електричного поля, практичне відсутність струму і пов'язаних з цим тепловиділень в діапазоні інфранизьких частот забезпечує йому якість вибухобезпечного елемента .

2.3 П'єзoeлектричний ефект.

П'єзoeлектричний ефект (скорочено п'єзoeфект) спостерігається в анізотропних діелектриках, переважно в кристалах деяких речовин, що володіють певною, досить низькою симетрією. П'єзoeфектом можуть володіти кристали, що не мають центру симетрії, а мають так звані полярні напрямки (осі). п'єзoeфектом можуть володіти також деякі полікристалічні діелектрики з упорядкованою структурою (текстурою), наприклад керамічні матеріали і полімери. Діелектрики, що володіють п'єзoeфектом, називають п'єзoeлектрик. Зовнішні механічні сили, впливаючи в певних напрямках на п'єзoeлектричний кристал, викликають в ньому не тільки механічні напруги і деформації (як у всякому твердому тілі), а й електричну поляризацію і, отже, поява на його протилежних поверхнях пов'язаних електричних зарядів різних знаків. При зміні напрямку механічних сил на протилежне стають протилежними напрямки поляризації і знаки зарядів. це явище називають

прямим п'єзоефектом.



Мал. 2.1 Схематичні зображення прямого(а, б) і зворотного(в, г) п'єзоефектів.

При впливі на п'єзоелектрики, наприклад кристал, електричного поля відповідного напрямки в ньому виникають механічні напруги і деформації. При зміні напрямку електричного поля на протилежне відповідно змінюються на протилежне напрямку напружень і деформацій. Це явище отримало назву зворотного п'єзоефекту.

Стрілками P і E зображені зовнішні впливи - механічна сила і напруженість електричного поля. Штриховими лініями показані контури п'єзоелектрика до зовнішнього впливу, суцільними лініями - контури деформації п'єзоелектрика (для наочності у багато разів збільшені); P - вектор поляризації. Механізм п'єзоефекту пов'язаний з зміною або виникненням сумарного дипольного моменту P_m при зміщенні зарядів під дією механічної напруги T (прямий п'єзоефект) або зміни середніх відстаней l між центрами тяжіння, утворюють диполь зарядів при дії електричного поля напруженістю E (зворотний п'єзоефект). При цьому відбувається зміна вектора поляризації P в обсязі ΔV :

$$P = \frac{P_m}{\Delta V} = \sum_{i=1}^{\infty} q_i l_i / \Delta V \text{ чи } P = \sum_{i=1}^{\infty} q_i / \Delta A \quad (2.1)$$

де $\sum q$ - заряд на електродах; A - площа електрода.

Відомо понад 1500 сполук, що володіють властивостями п'єзоефекту, і всі вони не мають центру симетрії в розподілі зарядів, що є необхідною умовою існування п'єзоефекту. Якщо заряд не має центру симетрії в відсутності зовнішнього поля, то такі сполуки мають спонтанною поляризацією. Відомо, що з 32 класів кристалів тільки 20 не мають центру симетрії і є п'єзоелектрик (з них 10 класів піроелектрики, зокрема, сегнетоелектрики). П'єзоефект може мати природний (у монокристалів - кварц і ін.) і штучний характер (у полікристалічних структур - п'єзоелектрики - за рахунок поляризації зовнішнім електричним полем. П'єзоефектом володіє навіть деревина після механічної обробки. Потрібно відзначити, що деформації під дією зовнішнього електричного поля виникають у всіх діелектриків, і у тих, що мають центр симетрії. Це явище називають електрострикцією. Електрострикція - парний ефект, що означає, що деформація не залежить від напрямку електричного поля, а її величина пропорційна квадрату напруженості електричного поля. зворотний п'єзоефект лине в першому наближенні. Порядок деформацій при електрострикції набагато менше, ніж при п'єзоефекті (приблизно на два порядки). Електрострикція завжди виникає і при п'єзоефекті, але внаслідок малості в розрахунок не береться. Електрострикція - ефект незворотний.

Прямий і зворотний п'єзоефект в першому наближенні лінійні і описуються лінійними залежностями, що зв'язують електричну поляризацію P з механічним напругою T :

$$P = dT \quad (2.2)$$

Дану залежність називають рівнянням прямого п'єзоефекту. Коефіцієнт пропорційності d називається п'єзоелектричним модулем (п'єзомодуль), і він служить мірою п'єзоефекту.

Зворотний п'єзоефект описується залежністю:

$$S = dE, (2.3)$$

де S - деформація; E - напруженість електричного поля.

П'єзомодуль d для прямого і зворотного ефектів має одне і те ж значення. Наведені вирази дані в елементарній формі тільки для з'ясування якісної боку п'єзоелектричних явищ. В дійсності п'єзоелектричні явища в кристалах більш складні, що обумовлено анізотропією їх пружних і електричних властивостей. П'єзоефект залежить не тільки від величини механічного або електричного впливу, але і їх характеру та напрямки сил щодо кристалографічних осей кристала. п'єзоефект може виникати в результаті дії як нормальних, так і дотичних напруг. Існують напрямки, для яких п'єзоефект дорівнює нулю. П'єзоефект описується декількома п'єзомодуль, число яких залежить від симетрії кристала. Напрямок поляризації може збігатися з напрямком механічної напруги або складати з ним деякий кут. При збігу напрямків поляризації і механічного напруги п'єзоефект називають поздовжнім, а при їх взаємно перпендикулярному розташуванні - поперечним. За направлення дотичних напруг приймають нормаль до площини, в якій діють напруги.

2.4 П'єзоелектрики – монокристали та кераміка.

Кварц - широко поширений в природі мінерал, відноситься до числа найбільш твердих речовин, має високу хімічну стійкість. Зовнішні форми природних кристалів кварцу відрізняються великим різноманітністю.

П'єзоелектричні властивості кварцу широко використовуються в техніці для стабілізації і фільтрації радіочастот, генерування ультразвукових коливань і для вимірювання механічних величин (п'єзометр). **Турмалін** широко поширений в природі, проте в більшості випадків кристали рясніють

тріщинами. За хімічним складом турмалін являє собою складний алюмоборосілікат з домішками магнію, заліза або лужних металів (Na, Li, K). Колір від чорного до зеленого, також червоний до розового, рідше безбарвний.

Сегнетова сіль - тетрагідрат подвійний натрієво-калієвої солі винної кислоти, що отримується з відходів виноробства. У сегнетовій солі вперше були виявлені своєрідні електричні властивості – мимовільна поляризація в певному інтервалі температур, причому ця поляризація піддається зміні під впливом досить сильного зовнішнього електричного поля. Пізніше речовини з такими властивостями стали називати по імені сегнетової солі сегнетоелектриками.

П'єзoeлемент з сегнетової солі широко використовувалися в апаратурі, що працює в порівняно вузькому температурному інтервалі, в зокрема, в звукознімачах. Особливо широко ця речовина знайшло застосування під час підвищеного попиту на електротехніку в післявоєнні роки.

Дигідрофосфат амонію - штучно вирощений сегнетоелектричної кристал, хімічно стійок, до точки плавлення ($T_{пл} = 130^{\circ} \text{C}$) має порівняно сильно вираженим п'єзoeфектом і малої щільністю, проте недостатньо механічно міцний. Кристали являють собою комбінацію тетрагональної піраміди і призми. П'єзoeфект слабкіше, ніж у сегнетової солі, але значно стійкіше. При температурі 100° кристали починають руйнуватися (виділяється аміак). Кристали дигідрофосфата не містять кристалізований води і не обезводжуються.

В даний час внаслідок широкого розвитку п'єзoeлектричної кераміки застосування дигідрофосфату амонію обмежена. Основні характеристики монокристалів зведені в таблицю 2.1.

| | Щільність, ρ $\times 10^3$ кг / м ³ | Швидкість звуку, c $\times 10^3$ м /с | Діелектрична проникність, ϵ | П'єзomodуль, d , 10^{12} к/н | Тангенс кута діелектричних втрат, tg $d \times 10^2$ | Коефіцієнт електромеханічного зв'язку, K_e м |
|----------------------------|--|--|---|-------------------------------------|---|---|
| Кварц | 2,6 | 5,4 | 4,5 | 2,31 | < 0,5 | 0,095 |
| Дегідрофосфатаммонія (АДР) | 1,8 | 5,27 | 21,8 | 24 | < 1 | 0,3 |
| Сульфат літія | 2,05 | 4,7 | 10,3 | 18,3 | < 1 | 0,37 |
| Сегнетова сіль | 1,77 | 3,9 | 250 | 172 | > 5 | 0,67 |
| Турмалін | 3,26 | 7,15 | 7,5 | 2,5 | < 0,5 | 0,098 |

Таблиця 2.1 - Основні характеристики монокристалів при температурі 16-20 °
С

Штучний п'єзоелектричний матеріал за своїми фізичними властивостями є полікристалічним сегнетоелектриком, які представляють собою хімічну сполуку або твердий розчин (Порошок) зерен (кристалітів). За хімічним складом це складний оксид, що включає іони двовалентного свинцю або барію, а також іони чотирьохвалентного титану або цирконію. п'єзоелектрична кераміка являє собою твердий, хімічно інертний матеріал, абсолютно нечутливий до вологості і інших атмосферних впливів. За механічними якостями вона подібна керамічним ізоляторів. Шляхом зміни основного співвідношення вихідних матеріалів і введення добавок синтезують різні склади п'єзокераміки, які володіють певними електрофізичними і п'єзоелектричними характеристиками. Найбільше поширення набула група п'єзокерамічних матеріалів типу ЦТС (Цирконата-титанату свинцю). Разом з тим використовується кераміка на основі титаната барію (ТБ) і титанату свинцю (ТС).

Типовою п'єзоелектричною керамікою є ТБ BaTiO_3 . Його п'єзоелектричний модуль лежить в межах $d = (4,35 \div 8,35) \cdot 10^{-11}$ К/Н; діелектрична проникність - в межах $\epsilon_r = 1100 \div 1800$; тангенс кута діелектричних втрат, що характеризує внутрішній питомий опір - в межах

$tg\delta = 0,3 \div 3\%$. Залежність заряду виникає від прикладеної сили, має деяку не лінійність і гістерезис. Властивості п'єзокераміки також залежать від технології їх виготовлення і поляризаційного напруги.

Більшість п'єзокераміки мають достатню температурну стабільність. П'єзоелектричні властивості зберігаються до температури Кюрі. Для ТБ це 115°C

Згодом параметри п'єзокераміки мимовільно змінюються. Старіння викликано зміною орієнтації домену.

Виготовлення перетворювачів з п'єзокерамікою набагато простіше, ніж монокристалів. Керамічні вироби виготовляються за технологією, загальноприйнятою для радіокерамічних виробів (шляхом пресування або лиття під тиском), до кераміки застосовуються електроди, а до електродів приварюються дроти, що підводять. Різниця полягає в електричній обробці. Для поляризації продукт поміщають в електричне поле $10^5 - 10^6 \text{В/м}$.

| Властивості | Монокристали | Кераміка |
|--|--------------|--------------------------------------|
| П'єзомодуль | невисока | висока |
| Область робочих температур, $T_{\text{max}}, ^{\circ}\text{C}$ | 500 - 600 | 200 - 250 |
| Добротність, Q | висока | низька |
| Температурна стабільність властивостей | висока | При нагріванні відбувається старіння |
| Економічність | низька | висока |

Таблиця 2.2 Порівняння характеристик монокристалу и кераміки.

При проектуванні виконавчих пристроїв правильний вибір матеріалу є визначальним фактором основних характеристик і функціональних

можливостей п'єзоелементів, п'єзоактюаторів і в Зрештою виконавчих п'єзодвигун. При виборі матеріалу для таких пристроїв основну увагу приділяють наступним параметрам:

1. d (d_{33} , d_{31}) - п'єзомодуль (у напрямку робочих деформацій) визначають робочий діапазон переміщень виконавчого пристрою.

2. k_{em} (k_{33} , k_{31}) - коефіцієнти електромеханічного зв'язку характеризують ефективність перетворення електричної енергії, що підводиться до матеріалу, в механічну.

3. Y_{ij} - модуль Юнга визначає пружні і резонансні властивості матеріалу.

4. Q_m - характеризує втрати енергії в матеріалі на внутрішнє тертя, визначає ефективну ширину смуги пропускання, впливає на ступінь загасання коливальних процесів.

5. ϵ_r - відносна діелектрична проникність визначає повне опір п'єзоелемента, характеризує діелектричні і в кінцевому підсумку ємнісні властивості п'єзоелемента.

6. $\tan \delta$ і $\tan \sigma$ - тангенси кутів діелектричних і механічних втрат характеризує діелектричні і механічні втрати в матеріалі.

7. T_k - температура Кюрі визначає граничну температуру, при якій настає область фазового переходу в матеріалі (теплове рух молекул руйнує дипольні структуру матеріалу і п'єзоелектричні властивості зникають).

8. ΔT - рекомендований робочий діапазон температур, в якому флуктуації параметрів матеріалу будуть знаходитися в межах допустимих значень.

2.5 П'єзоелектричні перетворювачі(актуатори)

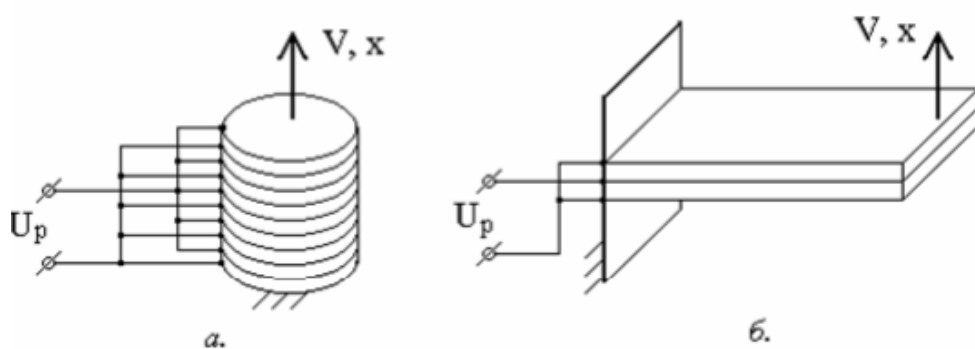
В даний час для вимірювання динамічних процесів, таких як імпульси тиску, вібрації. Найбільш широко застосовуються п'єзоелектричні перетворювачі, дія яких заснована на прямому п'єзоефекті в деяких кристалічних матеріалах

Раніше п'єзоелектричні перетворювачі використовували тільки при вимірюванні прискорень в високочастотному діапазоні вібрацій. Зараз розроблені системи, що дозволяють використовувати подібні перетворювачі для віброшвидкості і вібропереміщення при частотах вібрації від одиниць і навіть десятих часток герца.

В якості п'єзоелектричного перетворювача ми будемо використовувати п'єзоелектричні актуатори.

П'єзоактуатори (п'єзоактюатори) - це спеціальні надпрецизійні короткохідні лінійні електроприводи. Вони перетворюють електричну напругу в невелике, але вкрай точно контрольоване лінійне переміщення з високим розвиває зусиллям. В основі принципу їх дії лежить зворотний п'єзоелектричний ефект, тобто механічна деформація кристала при впливі на нього електричного поля. При цьому здійснюється зворотно-поступальний рух або інші його види.

П'єзоелемента елементи окремо в виконавчих пристроях використовуються досить рідко. керамічна технологія виготовлення п'єзоелементів не накладаються принципових обмежень на їх форму і розміри, але один п'єзоелемент може працювати в досить обмеженому діапазоні переміщень (0,01 - 0, 1 мкм). для розширення функціональних можливостей та, зокрема, збільшення діапазону переміщень П'єзоелемента об'єднують в більш складні конструкції, які прийнято називати п'єзоелектричними актуатори. проводитися підприємствами, не пов'язаними з



Мал.2.2 П'єзoeлементa актуатори.

Актуатори поділяються на три основні групи: осьові (мода d_{33}), поперечні (мода d_{31}) і гнучкі або біморфний (мода d_{31}). осьові і поперечні актуатори мають ще загальна назва – багатошарові пакетні (або складові), так як набираються з декількох п'єзoeлементів (Дисків, стрижнів, пластин, циліндрів або брусків) в пакет (Stack Actuators). Максимальні габарити визначаються можливостями існуючого техпроцесу виготовлення п'єзокерамічних виробів. пакетні актуатори можуть проводитися підприємствами, не пов'язаними з виробництвом п'єзокераміки.

2.5.1 Пакетна конструкція

Пакетна конструкція являє собою набір з окремих п'єзoeлементів з металізованими поверхнями (шайб, дисків циліндрів), число яких може перебувати в межах від 5 до 200 шт. і визначається необхідним діапазоном переміщень. Матеріал електродів - срібло і срібно-паладієвий сплав - наноситься методом трафаретного друку або вакуумного напилення на керамічну поверхню (товщина шару 6-12 мкм).



Мал. 2.3 Силові пакетні актуатори з кілець і дисків.

Невелике переміщення кожного п'єзоактивних шару підсумовується в загальне переміщення в діапазоні від одиниць мікрон до десятків мікрон при зусиллі від сотень до декількох тисяч Ньютонів. Такі актуатори також називають потужними з обмеженим діапазоном переміщень.

Пакет формують склеюванням або шляхом пайки м'яким і твердим припоєм однополярних поверхонь, поєднуючи їх механічно послідовно, а електрично паралельно, що дозволяє створити досить жорстке пристрій, що володіє максимальною деформацією. Допустима напруженість електричного поля П'єзоелемента близько $1-2 \text{ кВ} / \text{мм}$, отже, для зменшення напруги, що управляє необхідно зменшувати товщину п'єзоелементи(зазвичай вона знаходиться в межах від $0,3$ до $0,6 \text{ мм}$). При цьому максимальне значення напруги управління становить $300 - 600 \text{ В}$. В особливо відповідальних застосуваннях пакети попередньо стискають при цьому забезпечується вибірка між електродних зазорів, зниження величини гістерезису. Крім того, попереднє навантаження дозволяє працювати при подачі позитивного і негативного напруги, виключає нахил кінцевих поверхонь актуатора і забезпечує їх паралельність при установці в виробках.

У ряді випадків для стабілізації параметрів актуаторів використовуються електрострикційні матеріали. Електрострикційний матеріал (ніобатмагnezія свинцю - титанату свинцю типу PMN-PT) дозволяє отримати такі ж переміщення і зусилля, як і при застосуванні

п'єзокерамічного матеріалу при малій петлі гістерезиса $\sim 1\%$. Електрострикційні актуатори володіють внутрішньою стабільністю і здатні точно повертатися в нульову точку. Отримання аналогічних характеристик в п'єзоактуатори можливо тільки при застосуванні активного зворотного зв'язку з установкою датчиків позиціонування для визначення дійсного положення. Основним недоліком електрострикційних актуаторів є залежність їх експлуатаційних параметрів від температури довкілля. Оптимальний температурний діапазон $15-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, максимальне значення параметрів при температурі $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Високі значення п'єзомодуль ($d_{33} > 2000\text{ нКл / Н}$) і діелектричної проникності електрострикційних матеріалу ($\epsilon_{33} = 15000-20000$), тоді як для п'єзокераміки ($\epsilon_{33} = 1500-3000$) більш ніж на порядок підвищують ємність електрострикційних актуаторів, збільшуючи споживання струму, і при цьому майже на порядок знижують швидкодію. З цієї причини вони в основному використовуються в квазістатичному режимі роботи і знайшли своє застосування в оптичній та електронній промисловості в пристроях квазістатических переміщень при стабільних умовах з оптимальним підтриманням температури навколишнього середовища $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В даний час в умовах широкого впровадження актуаторів в приладобудуванні, електронної, хімічної, фармацевтичної, автомобільної промисловості, до них висуваються жорсткі вимоги за габаритами, діапазонами переміщень, величинам керуючих напруг, діапазонах робочих температур і т.д. більшість пакетних пристроїв, розроблених в кінці минулого століття, перестали задовольняти цим вимогам. Їм на зміну прийшли тонкоплівкові багатошарові актуатори. Багатошарові актуатори складаються з чергуються тонких шарів п'єзокераміки та електродів. Товщина керамічного шару зазвичай $20-100\text{ мкм}$, товщина внутрішніх електродів до $3-4\text{ мкм}$. З'єднання шарів між собою здійснюється шляхом спікання під тиском внутрішніх металевих електродів кожного шару при

цьому досягається щільність близька до теоретичного межі монолітної кераміки. У багатошаровому актуаторі кожен шар з'єднаний з подальшим шаром електрично паралельно. Усі суміжні шари п'єзокераміки поляризовані в зустрічному напрямку, в результаті переміщення, створюване структурою, є сумою переміщень всіх шарів.

На бічні грані актуатора наносяться зовнішні електроди з срібла, до яким пайкою приєднуються проводи для подачі керуючого напруги. Перевага конструкції полягає в тому, що для заданого рівня деформації потрібно на порядок менший електричний напруга, ніж у пакетних актуаторів з тими ж розмірами. зазвичай у сучасних багатошарових актуаторів напруга не перевищує 100вольт.

| Габарити, мм х мм х мм | Масса гр., не более | Статическая ёмкость, нФ, не более | Диапазон рабочих напряжений, В | Максимальное перемещение, мкм, не менее при U=100В | Блок. усилие, Н, не менее | Количество активных слоев |
|---------------------------|------------------------------|---|--------------------------------------|---|------------------------------------|------------------------------|
| 6,0 х 6,5 х 5,5 | 2,0 | 925 | 0 ÷ 100 | 4,5 | 1350 | 100 |
| 6,0 х 6,5 х 8,5 | 2,6 | 1400 | 0 ÷ 100 | 6,5 | 1350 | 150 |
| 7,5 х 7,5 х 19 | 6,0 | 3250 | 0 ÷ 100 | 15,0 | 1350 | 350 |
| 7,5 х 7,5 х 41 | 13,0 | 7000 | 0 ÷ 100 | 25,0 | 1350 | 750 |
| 7,5 х 7,5 х 55 | 20,0 | 9250 | 0 ÷ 100 | 35,0 | 1350 | 1000 |
| 7,5 х 7,5 х 70 | 25,0 | 11600 | 0 ÷ 100 | 50,0 | 1350 | 1250 |

Таблиця 2.3 - Характеристики актуаторів з п'єзокераміки ЦТС-46

Якщо до актуатором механічно під'єднати об'єкт масою m_0 , то еквівалентна приведена маса m_Σ , кг визначається за формулою:

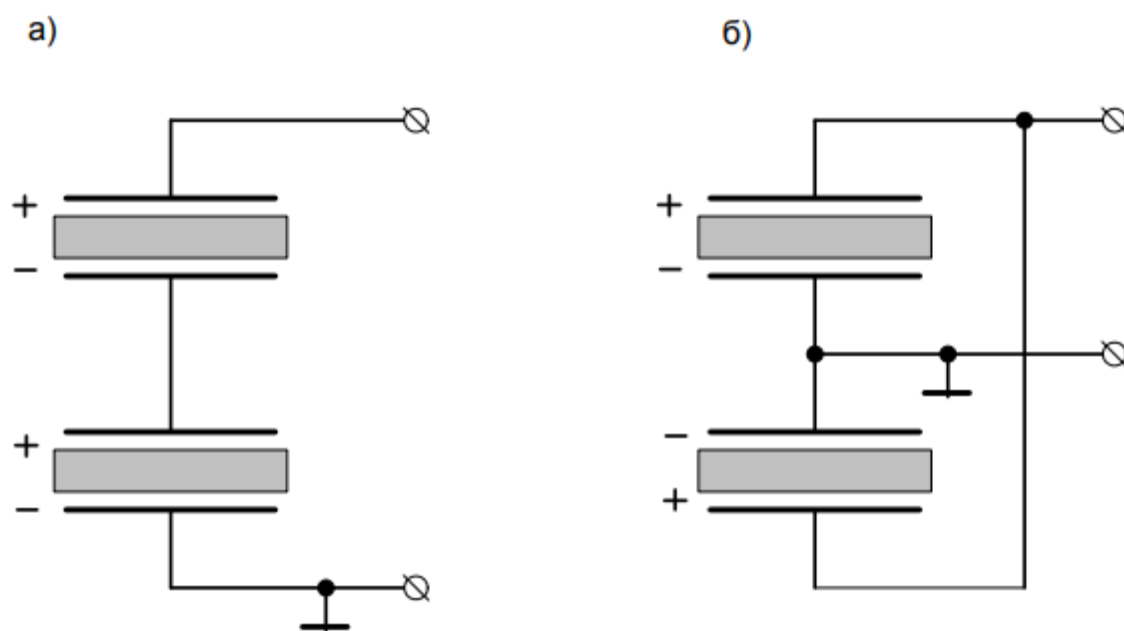
$$m_\Sigma = m_0 + 0,382m_k, (2.4)$$

де m_k - маса кераміки.

2.5.2 Біморфна конструкція

Біморфа складається з двох частин - двох п'єзоелементів, з'єднаних між собою, або п'єзоелемента і металевої пластини, також з'єднаних між собою за

допомогою епоксидного компаунда або легкоплавкого припою. Біморфний елементи, що складаються з двох п'єзоелементів, були названі симетричними. Мова тут йде про симетрії матеріалу біморфного елемента відносно нейтральної площини при його вигині (див. Додаток Е). Біморфний елементи, що складаються з п'єзоелемента і металевої пластини, по цих же міркувань були названі асиметричними. Відомі дві схеми з'єднання п'єзоелементів: послідовна і паралельна (Мал 2.4, а, б відповідно). Традиційно ці перетворювачі виготовляються з пластин однакових розмірів і, що дуже важливо, однакової товщини. Це забезпечує максимальну чутливість. Слід, однак, відзначити, що при однакових розмірах п'єзоелементів чутливість перетворювача по паралельній схемі і його власний опір в чотири рази менше відповідних характеристик перетворювача по послідовній схемі.



Мал.2.4- Схеми з'єднання п'єзоелементів в симетричному біморфного перетворювачі (а послідовна; б - паралельна)

Кількісною мірою ефективності такого узгодження для однорідних деформацій є статичні КЕМЗ. В електричному полі в одношарової пластини з

товщиною поляризацією виникає однорідна планарна деформація. Статичний КЕМЗ для такого типу деформації є табличній величиною, яка має різні значення для різних складів п'єзокераміки.

Для послідовної схеми і зустрічного включення при рівності чутливості окремих елементів сумарна (загальна) чутливість біморфного перетворювача дорівнює нулю. Якщо ж товщини п'єзоелементів не рівні, не рівні і чутливості, тоді чутливість біморфного перетворювача дорівнюватиме різниці чутливостей окремих елементів. Традиційно біморфна конструкція використовується для збільшення діапазону лінійних переміщень (до од. мм) і отримання кутових переміщень об'єктів (до декількох градусів) невеликої маси до десятків грам і розвиває незначну силу, що блокує. так, американська компанії APC International Inc. випустила новий тип пластинчастого біморфа - «стрічковий актуатор» (zareєстрована торгова марка). Стрічковий актуатор може забезпечувати блокує силу 0,95 Н і величину відхилення 1,2 мм або відхилення до 3 мм і блокуючу силу 0,6 Н. Гнучкі актуатори відносяться до групи малопотужних.

Найпростіша біморфного конструкція являє собою дві склеєні між собою п'єзоелектричні пластини, напруга управління на які подається таким чином, щоб одна з них скорочувалася, а інша розширялася. При цьому відбувається вигин всієї конструкції (за аналогією з біметалічною пластиною). Отже розглянувши декілька видів п'єзоактуаторів ми зробили висновок, що всі розглянуті п'єзоактуаторів торів підходять для того щоб бути вібраторами.

2.6 Розрахунок деяких характеристик вібратора

Для початку ознайомимося з основними параметрами вібрації. Ними являються такі величини: вібропереміщення, віброшвидкість і віброприскорення, та частота коливань.

Вібропереміщення (віброзміщення, зміщення) — показує максимальні межі переміщення контрольованої точки в процесі вібрації. Як правило вимірюється у мікрометрах. У нашому випадку вібропереміщення — це переміщення пьезоелемента(S).

Віброшвидкість(V) - це швидкість переміщення контрольованої точки обладнання під час її прецесії уздовж осі виміру.

$$V = 2 * \pi * f * S \text{ [м/с]}; \quad (2.5)$$

де S — вібропереміщення (м), f — частота коливань(Гц).

Віброприскорення(a) - це значення вібрації, прямо пов'язане з силою, що викликала вібрацію. Віброприскорення характеризує те силовий динамічний взаємодія елементів всередині агрегату, яке викликало дану вібрацію.

$$a = S * (2 * \pi * f)^2 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right]; \quad (2.6)$$

де S — вібропереміщення (м), f — частота коливань(Гц).

Частота(f) — фізична величина, що дорівнює кількості однакових подій за одиницю часу.

Ступінь відчуття вібрації оцінюють за законом Вебера-Фехнера логарифмічною відносною величиною - рівнем віброшвидкості L_v децибелах.

$$L_v = 20 * \lg \frac{V}{V_0} \text{ [дБ]}; \quad (2.7)$$

де V — віброшвидкість $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$,

V_0 — порогова віброшвидкість, що дорівнює $5 * 10^{-8} \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$;

Тепер розрахуємо, потрібне нам, максимальне значення вібропереміщення для нашого пьезоелемента. Максимальний рівень

віброшвидкості який нам може знадобитися це приблизно 40дБ. А мінімальна частота 1Гц.

Розрахункова формула для визначення вібропереміщення за допомогою формул (2.5) та (2.7), кінцева формула виглядає так:

$$S = \frac{10^{\frac{L_v}{20}} * V_0}{2 * \pi * f} [\text{м}]; \quad (2.8)$$

$$S = \frac{10^{\frac{40}{20}} * 5 * 10^{-8}}{2 * \pi * 1} = 0.796 * 10^{-6} \text{м.}$$

Переміщення яке нам потрібно є достатньо малим, звісно це не точний розрахунок, для більш точного розрахунку нам також треба брати до уваги характеристики корпусу вібратора. Але попередні розрахунки говорять нам про те, що актуатори є зайве потужними для нашого вібратор. Отже можна обійтись и звичайними п'єзоелементами.

2.7 Вибір п'єзоелектричного перетворювача.

Для нашого віброелемента підходять або малопотужні актуатори, або просто п'єзоелектрична пластина високої потужності.

В якості актуатора ми пропонуємо Актуатор 13PBR-35. Універсальний штоковий актуатор з двигуном, розташованим в лінію з корпусом. Така конфігурація забезпечує циліндричну форму без виступаючих частин, що ідеально для деяких застосувань. Колекторний двигун постійного струму, планетарний редуктор. Актуатор пилезахищений і захищений від вологи в стандартному виконанні. Сумісний з блоком управління 13ARXV За запитом поставляється з бездротовим або провідним управлінням.

Технічні характеристики:

| Обозначення | Напруга живлення | Споживання струму | Макс. навантаження | Макс. швидкість | Довжина ходу | Робочий цикл |
|--------------|---------------------------|-------------------|---|-----------------|-------------------------|-----------------------------|
| 13PBR-35-100 | 12;24 В постійного струму | 4,5 або 2 А | 100 Н - штовхання; 100 Н - втягнення | 43 мм/с | 50; 100; 150; 200; 250; | 10% (2 хв. - работа/ 18 хв. |

Табл. 2.3 Технічні характеристики актуатора 13PBR-35

В якості п'єзоелектричної пластини: Pzt4- плити індивідуальні п'єзоелектричний сенсор прямокутник п'зокераміка вібратор.

По технічним характеристикам, можна сказати, що пластини Pzt4 нам підходять якщо їх скласти в декілька штук. Він має достатню п'єзоелектричне напруження для потрібного нам вібропереміщення. А ось Актуатор 13PBR-35 є надто потужним для використання його у наших цілях. Але якщо знайти трохи менш потужний актуатор то він нам підійде, хоча мені цього зробити не вдалось.

Технічні характеристики:

| Размер (Длина * ширина * высота) (Мм) | Пьезоэлектрический напряжение Постоянная D33 (10-9C/N) | Постоянной ёмкости, универсальный конденсатор Карт (nF) | Относительная диэлектрическая Постоянная & Эпсилон; Tr3 | Резонансный Частота Fs (кГц) | Соединительная муфта Коэффициент K31 (%) |
|---------------------------------------|--|---|---|------------------------------|--|
| 105*14*0,37 | 420 | 81 | 2300 | 13,6 | 37,0 |
| 66,5*14*0,49 | 550 | 55 | 3400 | 21,5 | 37,2 |
| 63,5*14,3*0,42 | 550 | 49 | 3400 | 22,5 | 32,9 |
| 90*9*0,18 | 550 | 135 | 3400 | 15,9 | 38,0 |
| 70*14,5*0,32 | 550 | 89 | 3400 | 20,4 | 36,7 |
| 65*14,5*0,4 | 550 | 62 | 3400 | 22,0 | 35,6 |

Мал. 3.5 Характеристики різних видів пластини Pzt4.

Висновок до розділу

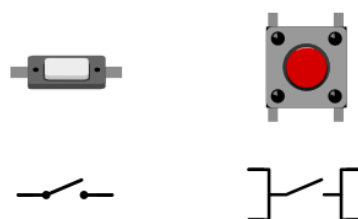
Отже в цьому розділі ми спочатку визначилися з типом віброелемента потім розглянули різні види п'єзоматеріалів та конструкційні основи акютерів, затим порівняли деякі види п'єзоперетворювачів та зробили висновок про те, що нам потрібен малопотужний перетворювач, затим спробували запропонувати декілька видів таких перетворювачів. На мій погляд розділ був дуже продуктивним, в ньому ми змогли визначитися з найголовнішим елементом нашого вібротестера, вібраційним елементом.

3. Реєстратор сигналів

В якості реєстратора сигналу віброзбудження у нас буде виступати або тактова кнопка або електроміографічна система. Розглянемо ці два способи реєстрації сигналу який проходить по нервовій тканині від точки збудження до місця фіксації сигналу.

3.1 Тактова кнопка

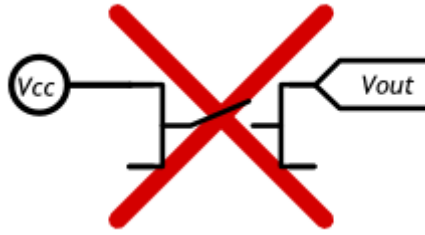
Тактова кнопка - простий, всім відомий механізм, який замикає ланцюг поки є тиск на штовхач



Мал. 3.1 Кнопки з 2 та 4 контактами, та їх зображення на схемі.

3.1.1 Схема підключення

Напрошується підключення безпосередньо. Але це наївний, невірний спосіб.

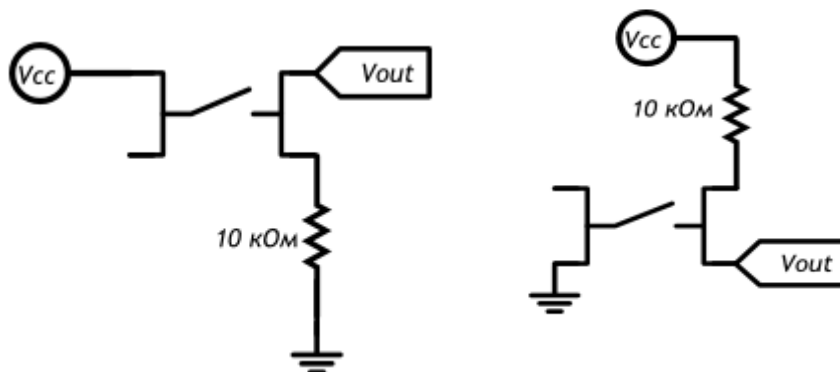


Мал. 3.2 Неправильне підключення кнопки.

Поки кнопка натиснута, вихідна напруга $V_{out} = V_{cc}$, але поки її відпустили, $V_{out} \neq 0$. Кнопка й проведення в цьому випадку працюють як антена, і V_{out} буде «шуміти», приймаючи випадкові значення «з повітря».

Поки з'єднання немає, необхідно дати резервний, слабкий шлях, який робить напруга певним. Для цього використовують один з двох варіантів.

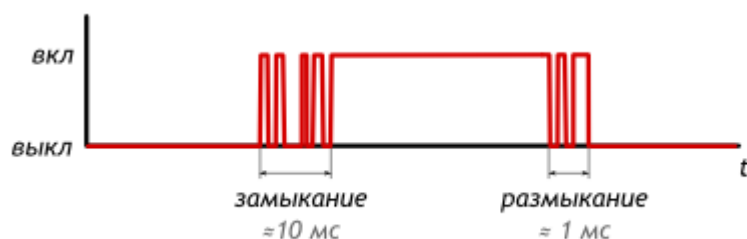
Схема зі стягує резистором:



Мал. 3.3 Схема зі стягує резистором та схема з підтягуючим резистором.

3.1.2 Ефект брязкоту

При замиканні і розмиканні між пластинами кнопки виникають мікроіскри, що провокують до десятка переключень за кілька мілісекунд. Явище називається брязкоту Це потрібно враховувати, якщо необхідно фіксувати «кліки»

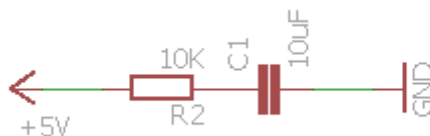


Мал. 3.4 Приклад осцилограми брязкоту контактів.

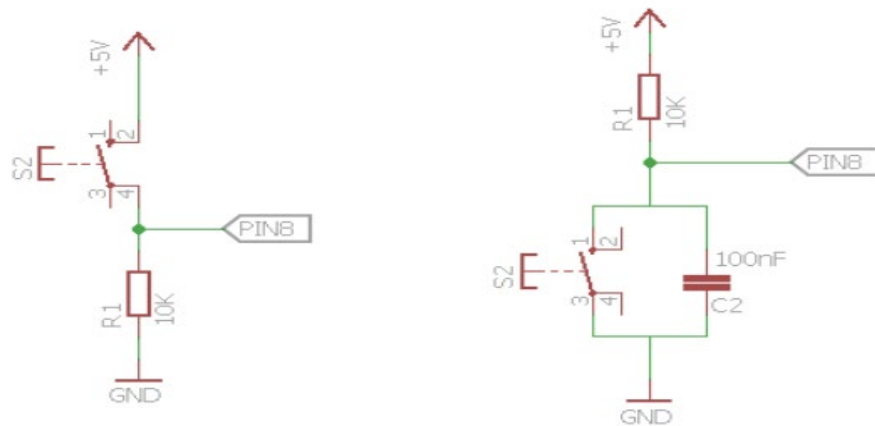
При замиканні і розмиканні між пластинами кнопки виникають мікроіскри, що провокують до десятка переключень за кілька мілісекунд. Явище називається брязкоту. Це потрібно враховувати, якщо необхідно фіксувати «кліки»

Апаратний спосіб усунення брязкоту заснований на використанні згладжуючих фільтрів. Згладжує фільтр, як випливає з назви, займається згладжуванням сплесків сигналів за рахунок додавання в схему елементів, що мають своєрідну "інерцію" по відношенню до таких електричних параметрам як струм або напруга. Найпоширенішим прикладом таких "інерційних" електронних компонентів є конденсатор. Він може "поглинати" все різкі піки, повільно накопичуючи і віддаючи енергію, точно так же, як це робить пружина в амортизаторах.

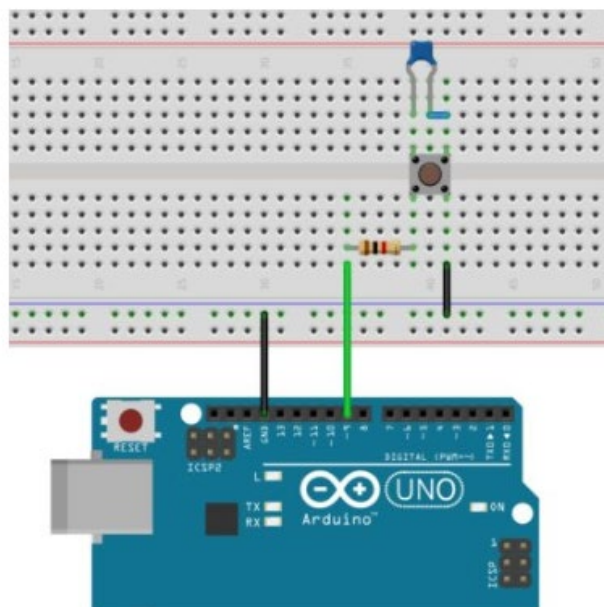
Приклад простого фільтра на базі RC-ланцюжка:



Мал. 3.5 Фільтр на базі RC-ланцюжка.



Мал. 3.6 Схема підключення фільтра для усунення брязкоту.



Мал.3.7 Приклад підключення до плати Ардуіно:

В якості фіксатора сигналу від кнопки ми візьмемо Ардуіно, через його багатофункціональність та можливість обробити сигнал. Приєднання кнопки до Ардуіно буде виглядати таким чином(мал.. 3.7).

За рахунок інерції пристрій як праскою походить по "м'ятому" сигналу з великою кількістю піків і западин, створюючи нехай і не ідеальну, але цілком гладку криву, у якій легше визначити рівень спрацьовування.

При наявності потрібних клінічних даних, за допомогою ЕНМГ можна вирішити ряд завдань в сфері діагностики:

- 1) виявлення точного ураженої ділянки;
- 2) уточнити тяжкість пошкоджень, їх ступінь;
- 3) дізнатися про стадії патологічного процесу, його характер;
- 4) проконтролювати, з якою динамікою розвивається захворювання, а також дізнатися його точний прогноз.

ЕНМГ є дуже важливим методом. Ним користуються в таких областях, як нейрохірургія, неврологія, ендокринологія, профпатології та ревматологія. Лікарі і фахівці цінують ЕНМГ за те, що за допомогою даного методу можна виявити більшість змін в патологіях ще до розвитку хвороби. У ЕНМГ використовується три головні методики: голкова електроміографія, поверхнева ЕНМГ, стимуляційна ЕНМГ.

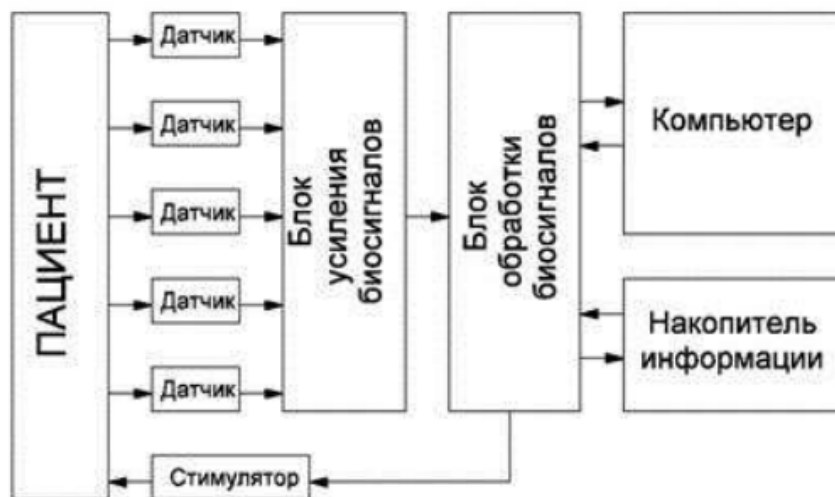
Є декілька методів реєстрації сигналу за допомогою міграції :

- голчаста електроміографія
- поверхнева електроміографія
- стимуляційна електроміографія

Стимуляційна електроміографія мабуть, найважливіший метод з всіх. З його допомогою визначається швидкість поширення по нервах імпульсів. Методика полягає в наступному: електроди в формі диска закріплюють фіксуюча стрічкою на ділянці, де проходять потрібні нам нерви і м'язи. Подаючи слабкі електричні розряди і тим самим стимулюючи нерв, за допомогою електродів записується процес проходження імпульсу.

3.2.1 Електронеїроміограф

Стандартна модель електронеїроміограф має кілька основних блоків, функціонально пов'язаних між собою. Структуру електронеїроміографа (рис.2.1) можна розглянути на прикладі дослідження. До пацієнта кріпляться кілька датчиків (поверхневі електроди), а також стимуляційний електрод. Після подачі стимулу датчики реєструють імпульси, біосигналів яких проходять через блок посилення для потрапляння в заданий діапазон частот приладу, щоб сигнали було зручніше обробити. Потім сигнали фільтруються від шумів, що виникли при ймовірних помилках при діагностиці, і обробляються з аналогового виду в цифровий, для передачі на комп'ютер фахівця, або ж на переносний носій. Також через цей блок відбувається контроль стимулятора. Деякі розробники відмовляються від блоків фільтрації сигналу, пояснюючи це отриманням на виході сигналу з повною інформацією про м'язової активності.



Мал. 3.9 Структурна схема електронеїроміографія.

Головні характеристики клінічного електронеїроміографа:

- 1) амплітуда вимірюваного сигналу 0,1 мкВ - 200 мВ;

- 2) частотна смуга підсилювача 0-10 кГц;
- 3) смуга пропускання фільтруючого блоку 0-10 кГц;
- 4) частота дискретизації 40000 відліків;
- 5) частота додаткових режекторного фільтрів 50,100,150..250 Гц;
- 6) діапазон аналогово-цифрового 24бітного перетворювача 100 дБ;
- 8) живлення від USB +5 В.

3.3 Висновки по реєстрації сигналу

Отже, кнопка є дуже надійним та недорогим рішенням для нашої системи, але є кілька недоліків які ставлять її у не дуже хороше положення перед міографією. Метод реєстрації сигналу кнопкою є суб'єктивним, що може значно знизити точність наших вимірювань та неможливість роботи з деякими типами пацієнтів.

Електроміографія метод достатньо складний, але дозволяє позбутися основного недоліку кнопки, як методу реєстрації, суб'єктивності. Всі вимірювання проводяться незалежно від волі суб'єкта досліджень, через що данні взяті цим методом є більш точними з медичної точки зору. Також цей метод дозволяє порівнювати швидкість передачі імпульсу по волокнам. Через те що є змога точної фіксації моменту пороходження імпульсу по нервовій тканині та порівняти цей момент з часом подання вібрації на ділянку тіла людини, після чого зробити висновки про різницю між часом подачі механічного імпульсу та прийняттям електричного. Ця перевага дає нам змогу більш детального дослідження периферичних нервових тканин.

Незважаючи на те що електроміографічний метод фіксації сигналу є набагато кращим ніж просто фіксація за допомогою кнопки, треба визнати, що електроміографія є надто дорогокоштуючою для цієї системи.

3.4 Генератор імпульсів для вібратора

Для формування сигналу до вібратора ми вибрали цифровий, а не аналоговий генератор сигналів.

В якості цифрового генератора та сигналу ми вибрали платформу Ардуіно.

Ардуіно - це ефективний засіб розробки програмованих електронних пристроїв, які, на відміну від персональних комп'ютерів, орієнтовані на тісну взаємодію з навколишнім світом. Ардуіно - це відкрита програмована апаратна платформа для роботи з різними фізичними об'єктами і являє собою просту плату з мікро контролером, а також спеціальне середовище розробки для написання програмного забезпечення мікроконтролера.

3.4.1 Вибір генератора та розгляд його складових

В цьому розділі ми розглянемо декілька способів забрати генератор сигналів на базі Ардуіно, та виберемо один з них.

Тепер можна приступити до розгляду комплектуючих частин нашого генератора, схеми збору та програмного забезпечення.

Платформа Ардуіно Uno має 14 цифрових введень / виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера AC / DC, або акумуляторною батареєю.

Характеристики Ардуіно Uno :

- Мікроконтролер ATmega328.
- Напруга живлення 5 В.
- Вхідна напруга (рекомендований) 7-12 В.
- Вхідна напруга (граничне) 6-20 В.

- Цифровий вхід-видобуток 14 лінії (6 з них = ШІМ).
- Аналоговий введення 6 ліній.
- Постійний струм на лініях введення-виведення 40 мА.
- Постійний струм на лінії 3.3В 50 мА.
- Flash-пам'ять 32кб, 0.5 кб з них використані для завантажувача.
- SRAM-пам'ять 2кб.
- EEPROM-пам'ять 1кб.
- Тактова частота 16МГц.

Далі у нас є декілька варіантів модулів для генерації сигналів під Ардуіно Uno R3. Але наш вибір пав на синтезатор частот AD9851 Ардуіно. Порівнявши ці два модулі ми зробили висновок про набагато більшу функціональність модуля AD9851, тому було вирішено брати його в якості модуля для генерації сигналів.

AD9851 - це пристрій з високим ступенем інтеграції, в якому використовується комбінація вдосконалених технологій прямого цифрового синтезу (DDS, direct digital synthesis), високоякісного цифро-аналогового перетворювача і компаратора, що забезпечує функції синтезу частоти з цифровим програмним управлінням і генерації тактових сигналів.

Характеристики AD9851:

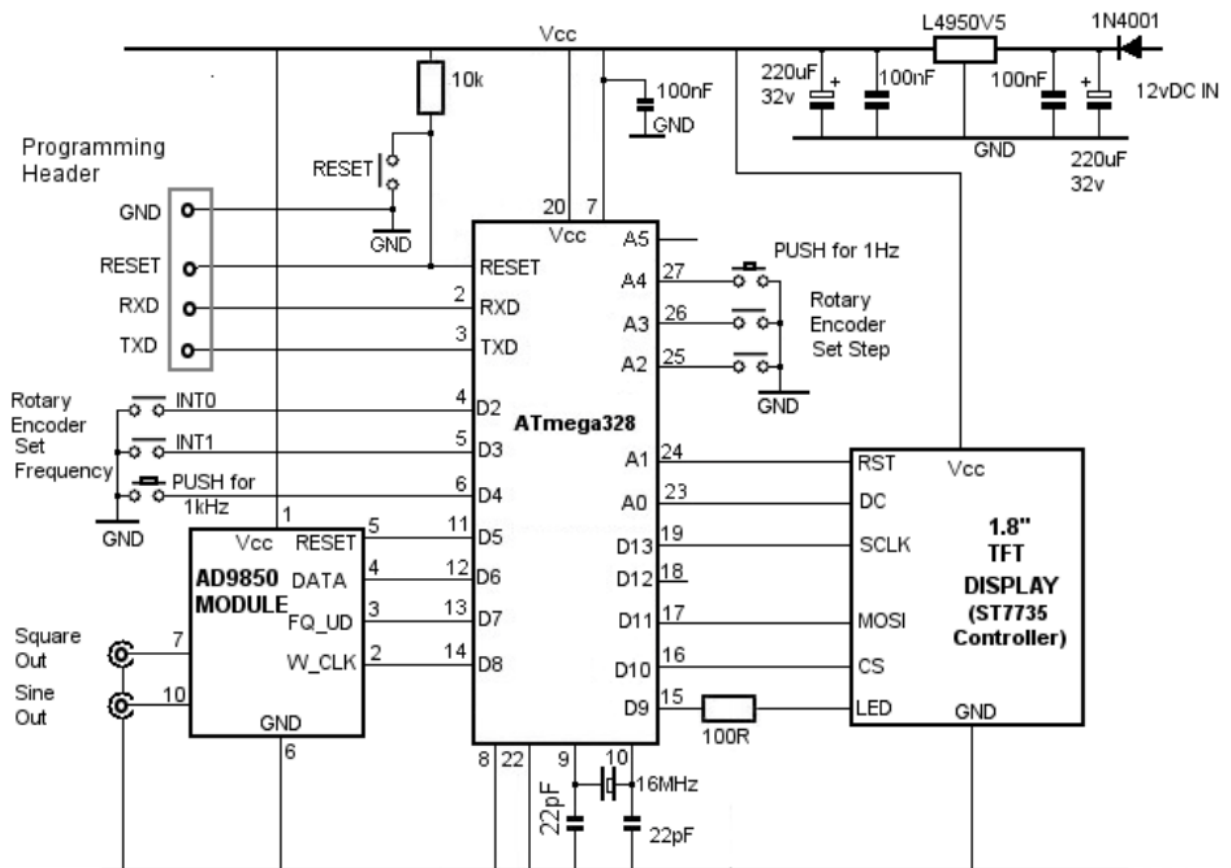
- Максимальна частота тактового сигналу 180 МГц;
- Інтегровані високоякісний ЦАП і швидкодіючий компаратор;
- SFDR ЦАП > 43 дБ при частоті вихідного сигналу 70 МГц;
- 32-розрядне слово настройки частоти;
- Спрощений інтерфейс управління: паралельний байт або послідовний формати завантаження;
- Можливість фазової модуляції;
- Робота від напруги живлення 3,3 В або 5 В;
- Мале енергоспоживання: 555 мВт при 180 МГц (5В);
- Працює в розширеному промисловому температурному діапазоні від -40 ° С до + 85 ° С;

- Функція зниженого енергоспоживання;
- Габарити модуля: 42 x 31 x 20 мм;
- Вага: 7 г

Для створення генератора імпульсів на Ардуіно знадобляться наступні компоненти:

- Ардуіно Uno R3 в антистатической упаковці;
- Шилд DFRobot LCD Keypad Shield;
- модуль генератора сигналів AD9850 DDS;
- проводи для приєднання частин конструкції - 8 штук;
- USB-провід або кабель

В такому випадку схема з'єднання буде виглядати так:



Мал. 3.10 Схема з'єднання

Якщо по закінченню завантаження користувач отримав повідомлення «Done uploading», значить, генератор сигналів на Ардуіно з дисплеєм готовий

до роботи. Наступний крок - з'єднання модулів. Вихідні сигнальні хвилі знімаються з контактів генератора: QOUT1, QOUT2 (прямокутний), ZOUT1 і ZOUT2 (синусоїдальний). Після складальних робіт слід ретельно перевірити, чи правильно підключені всі контакти. Якщо все правильно підключено - подаємо харчування в пристрій з електромережі. По закінченню пари секунд на дисплеї загориться стандартне значення частоти - 10 кГц. Значення можна змінити в будь-який час - для цього в лістингу вище запрограмовані кнопки вгору, вниз, вліво і вправо.

Висновки по розділу

В цьому розділі ми завершили розгляд складових частин вібротестера та вибрали, на мою думку, кращі варіанти для реалізації нашої системи.

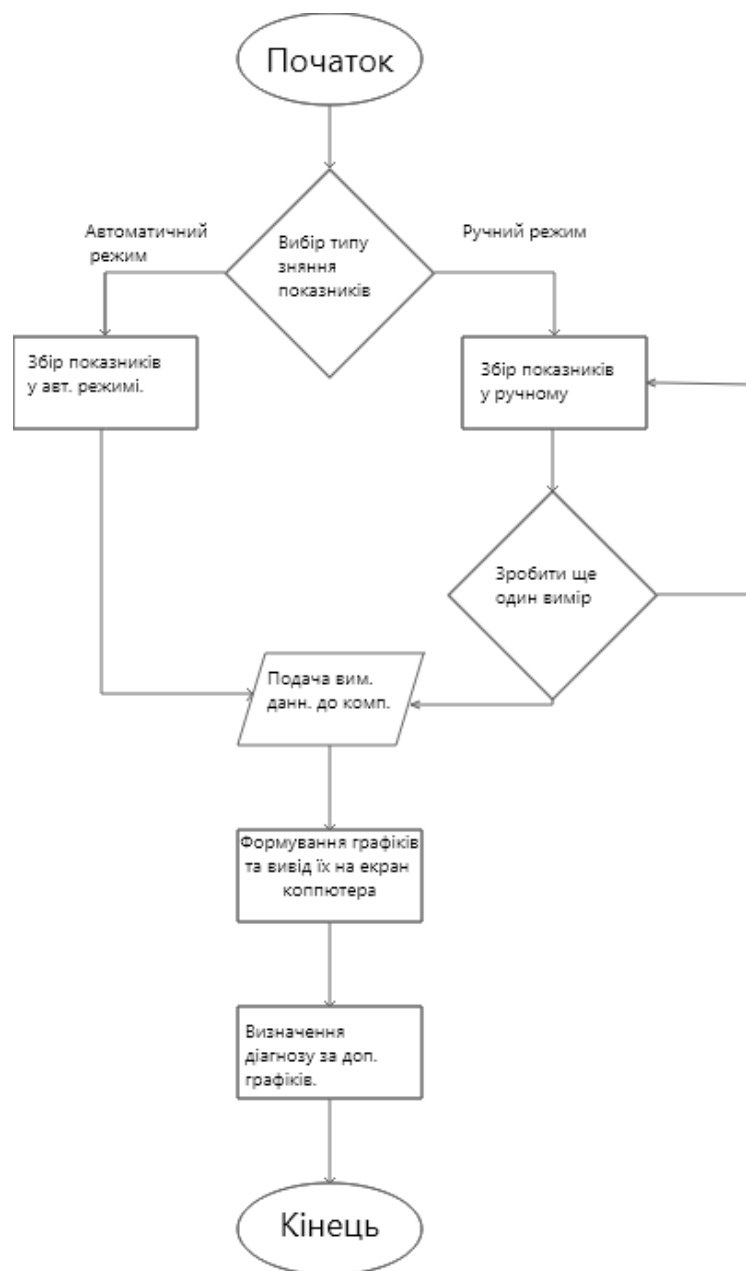
Розділ 4. Алгоритм роботи системи

Отже наша мікроелектронна система буде складатися з таких елементів, як вібратор(в нашому випадку це п'єзоелектричний перетворювач в якості якого виступатиме пластини Pzt4), реєстратора сигналів(в нашому випадку тактова кнопка - DIP 12x12 h10, 4 виводу), генератор імпульсів для вібратора(побудованого на платформі Ардуіно) та комп'ютера який буде збирати всі данні з цих пристроїв та показувати їх у зручному для сприйняття людини вигляді.

Таким чином хід роботи цього пристрою буде протікати таким чином:

Спочатку ми запускаємо програму на нашому комп'ютері в якій для початку дослідження пацієнта треба задати параметри дослідження, тобто задати частоту(Гц) та інтенсивність вібрації(дБ)(це можна зробити в автоматичному чи ручному режимі), після чого данні передаються до нашого генератора де вираховується потрібна напруга для отримання потрібної інтенсивності вібрації. Після цього потрібний нам сигнал з потрібними характеристиками подається на вібратор, досліджувана людина отримує віброімпульс, затим

вона реагує на нього (або не реагує), та натискає кнопку, кнопка передає сигнал на нашу Ардуіно де він фіксується з часом в який він прийшов. Всі ці данні передаються до комп'ютера де формуються 2 графіки, відношення відклику кнопки до часу та подача сигналу за певними характ. до часу. Ці графіки накладаються. Після чого лікар може визначити на які віброімпульси досліджуваний відповів, а на які ні. Також можна визначити яка затримка між подачею віброімпульси та реакцією на це пацієнта.



Мал. 4.1 Блок-схема алгоритму роботи вібротестера.

Висновок по до розділу

В цьому розділі ми завершили розгляд мікроелектронної системи для діагностики нервових волокон людини, та дослідили алгоритм дії даної системи.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи бакалавра було досліджено систему для діагностики нервових волокон людини. Під час проходження виробничої практики я зробив огляд наукової та технічної літератури по темі дослідження та діагностики нервової системи людини, зробив аналіз конструкції вібротестер.

Ще я дослідив різновиди методів реєстрації сигналу, такий як міографія та простий за допомогою аналогової електричної системи.

Також здійснено розгляд побудови та електричної схеми генератора сигналів для вібраційного елемента.

Здійснено вибір технічних засобів з метою реалізації системи, а саме віброелементів, пристрою реєстрації сигналу, та генератора сигналів та ін.

В цілому основні цілі, такі як дослідження систему для діагностики нервових волокон людини та розгляд її елементів було виконано тож роботу можна вважати успішно виконаною.

Список літератури

1. Нейробиологія: в 2-ч т. Т. І. Пес. з англ. – М.; Шеперд Г. ; Мир, 1987. с. 100
2. Психолого-педагогічний словник. / Упоряд. Рапацевіч Е.С. – Мінськ, 2006, с. 45-46.
3. Механізми проведення збудження по нервовим волокнам. [URL] – <https://studfiles.net/preview/6378585/page:2/>
4. Артамонова В.Г., Мухін Н.А. Професійні хвороби. М.: Медицина. 2004; с. 432.
5. Мозок та нервова система людини / пер. с англ. И. А. Борисовой. – М.: АСТ: Астрель, 2009. – 112 с.
6. Дослідження проведення збудження нервовими волокнами та через нервово-м'язовий синапс. [URL] - <https://helpiks.org/7-90050.html>
7. Андреева-Галанина Е. Д. Вібрація та її значення у гігієні праці, Л., 1956
8. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. Використання пристроїв і систем для мікропереміщення.- СПб ГУ ИТМО, 2011.- 131 с.
9. Віброакустичні вимірювання [URL]- <https://studfiles.net/preview/2534541/>
10. Шарапов В.М. , Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. – М.: Техносфера, 2006.- 632 с.
11. Джагунов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления: Справочник.- СПб.: Политехника, 1994.- 608 с
12. Гехт Б.М. Теоретическая и клиническая электромиография. – Л.: Наука, 1990. – 229 с.
13. Водолазский Л. А. Основы техники клинической электрографии. – М.: Медицина, 1966.–272 с
14. Робимо генератор частоти на базі Ардуіно мікроконтролера. [URL] – <https://Ардуіноplus.ru/generator-chastoti-Ардуіно/>
15. Документація по Ардуіно UNO R. [URL] – <https://www.chipdip.ru/product/Ардуіно-uno-r3>
16. Генератор сигналу, синтезатор частот AD9851 Ардуіно. [URL] – https://uawest.com/generator-signala-sintezator-chastot-ad9851-Ардуіно.html?gclid=Cj0KCQjwrdjnBRDXARIsAEcE5YmHiC0aAtK41q7W0C5zb3VUyGLD_EfU8bxOX6PPkJ_sy4Si1YnQT4YaAjHyEALw_wcB